

**EXTRUDADOS EXPANDIDOS DE ARROZ,
SOJA E GERGELIM PARA USO EM BARRAS
ALIMENTÍCIAS**

DÉBORA KONO TAKETA MOREIRA

2010

DÉBORA KONO TAKETA MOREIRA

**EXTRUDADOS EXPANDIDOS DE ARROZ, SOJA E GERGELIM PARA
USO EM BARRAS ALIMENTÍCIAS**

Dissertação apresentada à universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora

Profa. Maria de Fátima Pícolo Barcelos

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Moreira, Débora Kono Taketa.

Extrudados expandidos de arroz, soja e gergelim para uso em barras alimentícias / Débora Kono Taketa Moreira. – Lavras : UFLA, 2010.

166 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Maria de Fátima Píccolo Barcelos.

Bibliografia.

1. Barra alimentícia. 2. Extrusão. 3. *Snacks*. 4. *Sesamum indicum*
L. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.024

DÉBORA KONO TAKETA MOREIRA

**EXTRUDADOS EXPANDIDOS DE ARROZ, SOJA E GERGELIM PARA
USO EM BARRAS ALIMENTÍCIAS**

Dissertação apresentada à universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2010

Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho EMBRAPA/CTAA

Dr. Eric Batista Ferreira UNIFAL-MG

Prof^ª. Maria de Fátima Pícolo Barcelos
UFLA
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

DEDICATÓRIA

A Deus, por me guiar pelo caminho chamado vida e por me dar forças e esperanças nas horas em que mais precisei.

Aos meus pais, Jasson e Darcy Moreira, por todo amor, dedicação, apoio e companheirismo.

A minha prima Kátya, pela amizade, compreensão e acolhida.

A memória do meu avô, Takeshi Taketa, por ter se dedicado à família Taketa e ter nos proporcionado uma boa educação.

A vocês, com amor e carinho

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela acolhida durante o Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa de Estudo.

A minha Orientadora Prof^a Maria de Fátima Pícolo Barcelos pelas sábias discussões acadêmicas que muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. A você, minha admiração pelo grande exemplo profissional de constante amor e dedicação à ciência.

À EMBRAPA/CTAA-RJ, na pessoa do Pesquisador Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, meu Co-orientador, por ter cedido os Laboratórios, pela orientação, disposição, ética profissional e por me atender tantas e tantas vezes. Minha eterna gratidão.

Ao meu Co-orientador, Eric Batista Ferreira, pela orientação, esforço, dedicação e por sempre estar disponível para me ajudar.

Aos pesquisadores da EMBRAPA- Agroindústria de Alimentos/RJ Dra Cristina Takeiti e Dr. José Luis Ascheri, e aos técnicos, Francisco, David, Adriana, Tatiana e Vanessa por todo o apoio.

Aos técnicos dos laboratórios do DCA/UFLA Tina, Flávia, Creusa e Jerson, pelo incentivo e valiosa colaboração.

As amigas, Letícia, Caroline, Paula, Nara, Ana Clara, Júlia, Rosiana e Rosália, que carregarei sempre em meu coração, por estarem comigo em todas as horas, independentes de serem tristes ou alegres.

Aos amigos de truco e farra, pelas horas de descontração.

Aos professores, companheiros, colegas e a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste sonho.

De tudo ficaram três coisas:

A certeza de que estamos sempre começando...

A certeza de que precisamos continuar...

A certeza de que seremos interrompidos antes de
terminar...

Portanto devemos:

Fazer da interrupção, um caminho novo...

Da queda, um passo de dança...

Do medo, uma escada...

Do sonho, uma ponte...

Da procura, um encontro...

Fernando Sabino

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELA.....	i
LISTA DE FIGURA.....	iv
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO 1: Aspectos gerais	1
1 Introdução Geral	2
2 Objetivos.....	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 Referencial Teórico.....	5
3.1 Matérias-primas utilizadas para elaboração dos extrudados expandidos	5
3.1.1 Arroz.....	5
3.1.2 Soja.....	7
3.1.3 Gergelim.....	9
3.2 Complementação de proteínas vegetais	12
3.3 Extrusão termoplástica.....	14
3.3.1 Vantagens da aplicação do processo de extrusão.....	16
3.3.2 Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão e sua influência nas características tecnológicas.....	18
3.4 Barras alimentícias.....	20
4 Referências Bibliográficas	22
CAPÍTULO 2: Características físicas e funcionais dos “snacks” extrudados expandidos à base de arroz, soja e gergelim.....	30
1 Resumo.....	30

2 Abstract.....	32
3 Introdução	33
4 Material e Métodos	36
4.1 Matérias-primas para obtenção dos <i>snacks</i> expandidos.....	36
4.2 Formulação dos <i>snacks</i> expandidos.....	36
4.3 Processo de extrusão	38
4.3.1 Preparo da matéria-prima.....	38
4.3.2 Extrusão das matérias-primas para obtenção dos <i>snacks</i>	38
4.4 Métodos analíticos	40
4.4.1 Caracterização granulométrica das matérias-prima.....	40
4.4.2 Análise física dos extrudados expandidos.....	40
4.4.2.1 Índice de Expansão dos Extrudados Expandidos.....	40
4.4.2.2 Densidade aparente	41
4.4.2.4 Análise colorimétrica.....	42
4.4.2.5 Análise de textura instrumental	42
4.4.3 Caracterização funcional e física dos produtos extrudados	43
4.4.3.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	43
4.5 Análise estatística	44
5 Resultados e Discussão.....	45
5.1 Caracterização das matérias-primas.....	46
5.1.1 Análise granulométrica.....	46
5.2 Parâmetros físicos dos extrudados expandidos de arroz, soja e gergelim.....	48
5.2.1 Índice de Expansão (IE).....	48
5.2.2 Densidade aparente.....	53
5.2.3 Densidade absoluta, total de poros e volume total de poros	55
5.2.4 Cor.....	58

5.2.5 Textura.....	62
5.3Caracterização visual dos extrudados.....	68
5.4Características tecnológicas funcionais de <i>snacks</i> expandidos.....	71
5.4.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA).....	71
5 Conclusão	76
6 Referências Bibliográficas	77
CAPÍTULO 3: Avaliação química dos <i>snacks</i> expandidos de arroz, soja e gergelim	83
1 Resumo.....	81
2 Abstract.....	85
3 Introdução	86
4 Material e Métodos	89
4.1 Matéria-prima	89
4.2 Processo de extrusão.....	89
4.3 Composição centesimal	90
4.4 Análise de amido	91
4.5 Análise de minerais.....	91
4.6 Aminograma	91
4.7 Escore químico (EQ)	91
4.8 Análise estatística	92
5 Resultados e Discussão.....	93
5.1 Composição centesimal das matérias-primas	93
5.2 Composição centesimal dos <i>snacks</i> expandidos de arroz, soja e gergelim	95
5.3 Composição de minerais.....	99
5.4 Aminoácidos	101

6 Conclusão	114
7 Referências Bibliográficas	115
CAPÍTULO 4: Aspectos sensoriais, físicos e químicos de barras alimentícias elaboradas a partir de flocos extrudados de arroz, soja e gergelim	120
1 Resumo.....	119
2 Abstract.....	122
3 Introdução	123
4 Material e Métodos	125
4.1 Elaboração da barra alimentícia.....	125
4.2 Avaliação sensorial	127
4.3 Caracterização físico-química das barras alimentícias	127
4.3.1 Composição centesimal.....	127
4.3.2 pH, acidez e sólidos solúveis totais (SST).....	128
4.3.3 Atividade de água (Aw).....	128
4.4 Análise colorimétrica.....	128
4.5 Análise estatística	128
5 Resultados e Discussão.....	130
5.1 Avaliação sensorial das barras alimentícias.....	130
5.2 Caracterização físico-química das barras alimentícias	138
6 Conclusão	143
7 Referências Bibliográficas	144
ANEXOS.....	147

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 1.....	1
TABELA 1 Conteúdo em aminoácidos essenciais (mg aminoácido/g proteína) do arroz, milho e trigo em relação ao padrão FAO/OMS/UNU.....	6
TABELA 2 Composição média do óleo de gergelim.	11
TABELA 3 Composição média do gergelim integral e torta de gergelim....	11
CAPÍTULO 2.....	30
TABELA 1 Formulação dos extrudados expandidos de arroz (A), farinha de soja desengordurada (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG).	37
TABELA 2 Esquema de análise em fatorial duplo com tratamento adicional destacando as fontes de variação e os graus de liberdade.	45
TABELA 3 Distribuição granulométrica do <i>grits</i> de arroz e gergelim integral.	46
TABELA 4 Distribuição granulométrica da farinha de torta de gergelim (FTG) e farinha desengordurada de soja (FDS).....	47
TABELA 5 Densidade absoluta (DA _{ab}), total de poros (TP) e volume total dos poros (VTP) dos <i>snacks</i> expandidos contendo gergelim integral e torta.	55
TABELA 6 Coloração dos <i>snacks</i> conforme a adição de gergelim.....	59
CAPÍTULO 3.....	83

TABELA 1 Esquema de análise em fatorial duplo com tratamento adicional destacando as fontes de variação e os graus de liberdade.	92
TABELA 2 Composição centesimal, em matéria seca, do arroz, farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG) e suas respectivas umidades.....	93
TABELA 3 Composição centesimal (% em base seca) dos extrudados expandidos de arroz e soja, arroz, soja e gergelim integral e arroz, soja e torta de gergelim.....	95
TABELA 4 Composição de minerais do arroz, farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral e torta de gergelim em base seca e valores de ingestão dietética de referencia (RDA e AI).....	99
TABELA 5 Conteúdo de aminoácidos do arroz, farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG) em grama por 100g e recomendações diárias de aminoácidos essenciais para crianças, jovens e adultos.....	102
TABELA 6 Escores químicos (%) do arroz, farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG)....	104
TABELA 7 Conteúdo de aminoácidos dos <i>snacks</i> expandidos contendo arroz, farinha desengordurada de soja (FDS) e gergelim integral (GI), em diferentes proporções (5, 10 ,15 e 20%) e recomendações de aminoácidos da FAO para crianças de 2 a 5 anos.	106
TABELA 8 Conteúdo de aminoácidos dos <i>snacks</i> expandidos contendo arroz, farinha desengordurada de soja (FDS) e torta de gergelim (TG) em diferentes proporções (5, 10 ,15 e 20%) e recomendações de aminoácidos da FAO para crianças de 2 a 5 anos.	108
CAPÍTULO 4.....	120
TABELA 1 Formulações das barras alimentícias a base de flocos de arroz, soja (FDS) e gergelim adicionados de 10 (BAGI10%) e 15% (BAGI15%) de gergelim integral (GI) ou de 15 (BATG15%) e 20% (BATG20%) de torta de gergelim (TG)	125

TABELA 2	Valores médios dos atributos sensoriais de barras alimentícias com gergelim integral (BAGI10% e BAGI15%) e barras alimentícias com torta de gergelim (BATG15% e BATG20%)	130
TABELA 3	Valores médios do diâmetro e do comprimento em milímetros dos <i>snacks</i> de arroz e soja e arroz, soja e gergelim integral ou torta de gergelim.	131
TABELA 4	Composição centesimal e valor calórico das barras alimentícias contendo flocos de arroz, soja e gergelim integral a 15% (BAGI 15%) e torta de gergelim a 20% (BATG 20%)..	138
TABELA 5	Características físico-químicas das barras alimentícias contendo flocos de arroz, soja e gergelim.....	140

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 2.....	30
FIGURA 1 Fluxograma de obtenção dos <i>snacks</i>	39
FIGURA 2 Extrusora Imbramaq RX50.....	39
FIGURA 3 Parafuso e camisa; Matriz de quatro furos; e cortador.....	40
FIGURA 4 Variação do índice de expansão radial (IER) conforme a adição de torta de gergelim na formulação do <i>snack</i> a base de arroz e soja.....	49
FIGURA 5 Variação do índice de expansão volumétrico conforme a adição de gergelim na formulação do <i>snacks</i> a base de arroz e soja.....	49
FIGURA 6 Índice de expansão volumétrica (IEV) dos <i>snacks</i> expandidos contendo 5, 10, 15 e 20% de torta de gergelim (TG) e gergelim integral (GI).....	50
FIGURA 7 Variação da densidade aparente conforme a adição de gergelim (5, 10, 15 e 20%) na formulação do <i>snacks</i> a base de arroz e soja.....	53
FIGURA 8 Variação da densidade em relação à adição de gergelim.....	56
FIGURA 9 Variação do volume total de poros nos <i>snacks</i> em relação à adição de gergelim.....	57
FIGURA 10 Variação do índice de cor L* dos <i>snacks</i> conforme a adição de gergelim integral.....	60
FIGURA 11 Variação do índice de cor L* dos <i>snacks</i> conforme a adição de torta de gergelim.....	60
FIGURA 12 Variação da força específica das rupturas (F _{sr}) dos <i>snacks</i> de acordo com a adição de gergelim integral.....	63

FIGURA 13	variação da frequência de rupturas dos snacks de acordo com a adição de torta de gergelim.	64
FIGURA 14	variação da frequência de rupturas dos <i>snacks</i> de acordo com a adição de gergelim integral.	64
FIGURA 15	Variação da crocância em relação às doses adicionadas de gergelim.	65
FIGURA 16	Índice de dureza dos <i>snacks</i> expandidos de arroz e soja contendo ou não gergelim integral (GI) ou torta de gergelim (TG), sendo as médias seguidas de letra igual, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade que letras iguais.	67
FIGURA 17	<i>Snacks</i> expandidos de arroz, soja e gergelim integral.....	69
FIGURA 18	<i>Snacks</i> expandidos de arroz, soja e torta de gergelim.....	70
FIGURA 19	Comportamento do índice de solubilidade em água (ISA) dos extrudados contendo gergelim.	71
FIGURA 20	Variação do índice de absorção de água em relação ao acréscimo de gergelim nos extrusados expandidos.....	73
CAPÍTULO 4.....		120
FIGURA 1	Fluxograma do processamento da barra alimentícia.	126
FIGURA 2	Gráfico de preferência das barras alimentícias elaboradas com flocos de gergelim extrudados	132
FIGURA 3	Gráfico representativo dos quatro tipos de barras alimentícias com gergelim.	133
FIGURA 4	Gráfico representativo dos atributos sensoriais.....	134
FIGURA 5	Círculo de correlação entre consumidores.	135
FIGURA 6	Mapa de preferência externo das barras alimentícias estudadas	136

RESUMO GERAL

MOREIRA, Débora Kono Taketa. **Extrudados expandidos de arroz, soja e gergelim para uso em barras alimentícias**. 2008. 166p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de gergelim integral frente ao desengordurado e estabelecer a quantidade mais adequada na elaboração de barras alimentícias. Para compor as barras alimentícias, foram produzidos *snacks* expandidos na EMBRAPA do Rio de Janeiro/RJ, utilizando-se grits de arroz (GA), farinha desengordurada de soja (FDS) e gergelim integral (GI) ou torta de gergelim (TG), sendo fixa a quantidade de GA e FDS, na proporção de 50%:50% de proteína, para uma melhor complementação dos aminoácidos; e variando a quantidade de GI e TG em 5, 10, 15 e 20%. No processo de extrusão, utilizou-se extrusora comercial de rosca simples Inbramaq RX50, com capacidade de 50 kg/h, velocidade de rotação do parafuso 378rpm, matriz de 4 furos (1mm cada furo) e umidade do material de 12%. Os extrudados expandidos foram secos em estufa com circulação de ar a 50°C por 24 h e armazenados em embalagens plásticas. Foram elaborados quatro experimentos de barras alimentícias na Universidade Federal de Lavras/MG, com os flocos expandidos, contendo 10 e 15% de GI e flocos expandidos, contendo 15 e 20% de TG, que foram selecionados pelas suas características físicas. A barra foi constituída por 50% de ingredientes secos (flocos + gergelim integral) e 50% de xarope. As análises físicas e funcionais para os *snacks* mostraram que o aumento do teor de GI e TG resultou na diminuição do índice de expansão, cor, índice de absorção, solubilidade em água e aumento na densidade aparente e no volume total de poros. Obtiveram-se, assim, *snacks* com textura rígida, quando comparados com *snacks* de arroz e soja. O elevado teor de lipídeo, presente na GI e na TG, foi prejudicial ao processo de extrusão. Entretanto, foi possível obter *snacks* expandidos de arroz e soja com níveis de até 15% de GI e 20% de TG. As matérias-primas farinha desengordurada de soja e torta de gergelim apresentaram elevados teores de proteínas, satisfazendo as necessidades requeridas pela FAO, para crianças e adultos, para a maioria dos aminoácidos essenciais, com exceção da lisina e da treonina para torta de gergelim. Dessa forma, as formulações dos *snacks* apresentaram um efeito complementar significativo, pois, aumentaram os valores dos aminoácidos. Os

* Comitê Orientador: Maria de Fátima Piccolo Barcelos – UFLA (Orientador), Carlos Wanderlei Piler de Carvalho – EMBRAPA/RJ, Eric Ferreira Batista – UNIFAL/MG

snacks adicionados de torta de gergelim podem ser considerados fontes de fibra. A utilização do mapa de preferência externo, para a análise sensorial das barras alimentícias, permitiu apontar a barra elaborada com 15% de gergelim integral nos flocos extrudados de arroz e soja como a preferida e com maior intenção de compra. Foi seguida pela barra alimentícia, contendo flocos de arroz e soja adicionados de 20% de torta de gergelim. Baseando-se nos resultados das análises físico-químicas é possível afirmar que as barras com adição de gergelim integral e torta de gergelim são fontes de fibra alimentar, apresentando, ainda, padrões estáveis de crescimento de microrganismos em função da sua baixa atividade de água e pH. De acordo com os resultados, pode-se concluir que foi possível obter barras alimentícias elaboradas por intermédio de flocos extrudados de arroz, soja e gergelim na forma integral e de torta.

GENERAL ABSTRACT

MOREIRA, Débora Kono Taketa. **Expanded extruded rice, soybean and sesame bars for use in food.** 2008. 166 p. Dissertation (Master Program in Food Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. *

The objective this study aimed to verify the action of integral sesame front of the defatted and establish the most appropriate amount in the preparation of food bars. To make the food bars, expanded snacks were produced from rice grits (GA), defatted soy flour (FDS) and integral sesame (GI) or sesame flour (TG), and fixing the amount of GA and FDS in the rate of 50%: 50% protein, for the best complement of aminoacids, and ranging the amount of GI and TG in 5, 10, 15 and 20%. In the extrusion process was used screw extruder simple Inbramaq RX50 with a capacity of 50kg/h, speed of screw of 378 rpm, matrix of 4 holes (1 mm) and moisture of the material 12%. The extruded expanded were dried in an oven with air circulation at 50°C for 24 h and stored in plastic containers. Four experiments were performed for food bars, from expanded flakes containing 10 and 15% of GI and expanded flakes containing 15 and 20% of TG, which were selected based on their physical characteristics. The bar was composed by 50% of dry ingredients (flakes + sesame seed) and 50% syrup. The physical and functional analysis in the snacks showed that the increase in the GI and TG content resulted in the decrease of expansion index, color, absorption index, water solubility and increase in the density and total volume of pores, thus obtaining snacks with hard texture when compared with snacks of rice and soybeans. The high amount of lipid in the GI and TG was ruling in the extrusion process. However, it was possible to obtain expanded snacks of rice and soybeans with levels of 15% GI and 20% TG. The raw material defatted soy flour and sesame flour showed high levels of protein, satisfying the demands required by FAO for children and adults for all essential aminoacids, except lysine and threonine for sesame flour. Thus, the formulations of the snacks presented a meaningful complementary effect, since the values of proteins increased. The snacks added with sesame flour can be considered as fiber source. The use of external preference mapping to sensory evaluation of food bars allowed to point to the bar with 15% sesame seed in the extruded rice flakes and soy as the preferred one and with greater purchase intention followed by

*Guidance Committee: Maria de Fátima Pícolo Barcelos – UFLA (Major Professor), Carlos Wanderlei Piler de Carvalho – EMBRAPA/RJ and Eric Ferreira Batista – UNIFAL/MG

food bar with flakes which was 20% sesame defatted flour was added in the extruded flakes. These bars were subjected to physicochemical analysis which showed they were considered to be a source of dietary fiber, presenting stable patterns of microorganism growth due to its low water activity and pH. According to the results, the conclusion is that it was possible to obtain food bars prepared from extruded flakes of rice, soybean and sesame.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GERAIS

1 INTRODUÇÃO GERAL

As alterações na rotina diária da população têm levado ao considerado aumento na demanda e aceleração no desenvolvimento de produtos prontos e semiprontos para o consumo.

Barras alimentícias são produtos fáceis de serem consumidos por crianças, jovens, adultos e idosos. Encontram-se altamente disponíveis no mercado em pequenos tamanhos e atendem a tendência de uma alimentação saudável para escolares, atletas e outros segmentos da população, pois, são constituídas de proteínas, lipídios, carboidratos simples e complexos, vitaminas, minerais e fibras.

São vários os ingredientes usados na produção de barras alimentícias. Alguns deles podem ser obtidos por extrusão, pois, apresentam sabor, textura e outras propriedades funcionais favoráveis que melhoram a qualidade das barras alimentícias. As matérias-primas empregadas podem ser combinadas em quantidades adequadas para garantir uma melhoria, também, da qualidade nutricional.

O arroz (*Oriza sativa* L.) é um importante cereal, com seus atributos únicos, tais como sabor suave, versatilidade de uso e de fácil digestão. É fonte de carboidratos (amido) e baixo teor de lipídios (menor que 1%) que o torna interessante na elaboração de produtos pelo processo de extrusão.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) leguminosa destaca-se entre os alimentos vegetais pelos elevados teores protéicos, lipídicos, de vitaminas e minerais, apresenta teor elevado do aminoácido lisina, porém, reduzido teor dos aminoácidos sulfurados (metionina e cistina).

O gergelim (*Sesamum indicum*, L) encontra-se em posição privilegiada em relação às oleaginosas cultivadas, pois, além do grão, apresenta lipídios de

fácil extração. A torta residual da extração do óleo é rica em proteínas. Contém elevado teor de aminoácidos sulfurados, porém, é pobre em lisina que leva as proteínas das leguminosas combinarem-se, nutricionalmente, com as do arroz e do gergelim, permitindo, desta forma, a elaboração de produtos de considerada qualidade proteica com a combinação de arroz, soja e gergelim.

O processo de extrusão é uma tecnologia versátil e eficiente que encontra grande aplicação na indústria de alimentos. Esta tecnologia baseia-se no processo contínuo em que o alimento é exposto à alta temperatura, alta pressão e considerável força de cisalhamento, por reduzido período de tempo. A combinação da energia térmica e mecânica favorece a modificação do material amiláceo e protéico de forma a modificar as características físicas, funcionais e sensoriais. Das várias ações que ocorrem no interior de uma extrusora, a compatibilização de diferentes ingredientes é importante no desenvolvimento de produtos alimentícios de pronto consumo e ricos em proteínas e/ou fibra alimentar.

É interessante, portanto, o emprego do processo de extrusão, para a obtenção de extrudados expandidos à base de matérias-primas, com combinações adequadas, para serem utilizados na elaboração de barras alimentícias, visando enriquecer, nutricionalmente, este tipo de produto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar a ação da adição de diferentes quantidades de gergelim integral e desengordurado (torta de gergelim), numa combinação pré-estabelecida de arroz e soja, para obtenção de *snacks* expandidos, visando à elaboração de barras alimentícias com características físicas, físico-químicas e sensoriais adequadas.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar *snacks* expandidos, por meio de propriedades físicas e funcionais, frente à ação da adição de diferentes quantidades de gergelim integral e da torta de gergelim numa mistura fixa de proteína do arroz e da soja.
- ✓ Avaliar quimicamente os *snacks* expandidos de arroz, farinha desengordurada de soja e gergelim.
- ✓ Selecionar, por meio das características físicas, a melhor combinação de ingredientes processados por extrusão de arroz, soja e gergelim para obtenção de barras alimentícias.
- ✓ Elaborar barras alimentícias por meio de flocos expandidos de arroz, soja e gergelim.
- ✓ Selecionar barras alimentícias de arroz e soja, com diferentes concentrações de gergelim, baseado na aceitabilidade dos produtos, e caracterizá-las físico-quimicamente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Matérias-primas utilizadas para elaboração dos extrudados expandidos

3.1.1 Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado e consumido, em todos os continentes, e destaca-se pela produção e área de cultivo, desempenhando papel estratégico tanto econômico quanto social (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2005).

É considerado o alimento básico da maioria da população, sendo consumido, principalmente, na forma de grão, pois, possui sabor agradável, representando 27% do consumo de energia e 20% do consumo de proteínas *per capita* necessárias ao homem. No Brasil é responsável por 12% das calorias ingeridas sendo, portanto, um dos alimentos mais presentes na dieta dos brasileiros (Food and Agriculture Organization of the United - FAO, 2004).

A composição química do arroz polido comercial encontra-se em torno de 0,5% de lipídeos, 0,47% de cinzas, 6,66% de proteínas. Em relação às vitaminas e aos minerais, o teor encontrado é baixo em razão do beneficiamento do grão, porém, merecem destaque o ferro, zinco e as vitaminas do complexo B (Kennedy & Burlingame, 2003; Heinemann et al., 2005).

Dentre as proteínas dos cereais, a do arroz é uma das mais nutritivas, igualando-se à aveia e ao centeio. O arroz possui um perfil de aminoácidos essenciais mais adequados em termos nutricionais que o de outros cereais, como o milho comum e o trigo, como pode ser visto na Tabela 1. Entre os aminoácidos livres, predominam aspartato e glutamato, que correspondem, aproximadamente, 60% do total. Porém, similar a outros cereais, o arroz apresenta a lisina como aminoácido limitante. Seu quociente de eficiência proteica (gramas de peso/ grama de proteína ingerida) varia entre 1,38 a 2,56,

dependendo da variedade, concentração proteica e condições experimentais (Saikusa et al., 1994; Glarbieri, 1996).

TABELA 1 Conteúdo em aminoácidos essenciais (mg aminoácido/g proteína) do arroz, milho e trigo em relação ao padrão FAO/OMS/UNU

Aminoácido	Arroz		Milho (9,5%, Nx6,25)	Trigo (12,2%, Nx5,83)	Padrão FAO/OMS/ UNU ²
	Polido (6,7%, Nx5,95) ¹	Integral (7,5%, Nx5,95)			
Histidina	25	26	27	25	19
Isoleucina	44	40	37	35	28
Leucina	86	86	125	72	66
Lisina	38	40	27	31	58
Metionina + Cistina	38	36	35	43	25
Fenilalanina + Tirosina	8	91	87	80	63
Treonina	35	41	36	31	34
Triptofano ³	14	13	7	12	11
Valina	61	58	48	47	35
Total	426	431	429	376	339
EAE (%) ⁴	66	69	47	53	100

Fonte: FAO (1970).

1 Teor proteico e fator de conversão de nitrogênio em proteína.

2 Necessidades de aminoácidos essenciais de crianças em idade pré-escolar (OMS, 1985).

3 Determinado por método microbiológico para o arroz e o trigo, e por método químico para o milho.

4 Escore de aminoácido essencial – proporção do aminoácido mais limitante (lisina) em relação ao padrão.

O amido é o principal carboidrato do arroz e constitui cerca de 90% do produto branco polido, sendo composto por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina. A amilopectina representa de 63 a 92% de todo o amido, e a amilose, de 8 a 37% (Bobbio & Bobbio, 1992). Com aumento da relação amilopectina/amilose, há aumento do rendimento dos grãos inteiros.

O grânulo do amido de arroz é muito pequeno, se comparado ao do milho (15µm) e ao do trigo (30µm), variando de 2 a 10µm. A estrutura do grânulo tem um formato dodecaedro pentagonal, o qual pode ser em virtude da compressão do grânulo de amido durante o desenvolvimento do grão (Julino, 1972). Isto permite que, ao ser cozido, tenha textura extremamente suave; sabor e aroma brandos, baixos níveis de sódio e alta proporção de amidos facilmente digeríveis (Polanco et al., 1985; Torres et al., 1999).

A farinha de arroz é um importante ingrediente alimentício e, quando submetida ao processo de extrusão, pode obter diversos produtos como *snacks* e farinhas pré-gelatinizadas, que ampliam o seu uso em diferentes produtos, podendo ser incorporada como espessantes, em produtos doces ou salgados, de cor e aromas variados. Em função da baixa alergenicidade de suas proteínas, ela pode ser usada, inclusive, por pacientes celíacos, que apresentam intolerância às proteínas do trigo, aveia, centeio e cevada, podendo ser utilizada como substituto destes para elaboração de produtos sem glúten (Deobald, 1972; Torres et al., 1999).

Considerando que o Brasil figura entre os dez maiores produtores mundiais de arroz e que o cereal constitui alimento importante para o equilíbrio alimentar e nutricional de dietas saudáveis, o seu consumo habitual e o emprego de seus subprodutos na elaboração de alimentos com propriedades especiais devem ser incentivados.

3.1.2 Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma leguminosa de elevada importância agrícola no Brasil. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2008), na primeira avaliação da safra de 2008 estimou-se uma produção de soja em grãos de 59,9 milhões de toneladas de soja, sendo esta responsável por 43,88% da produção total de grãos no Brasil.

A elevada quantidade das proteínas e de lipídeos da soja destaca-se dentre os alimentos vegetais. Considerada um alimento com a alegação de propriedades funcionais pela proteína e pela presença de compostos biologicamente ativos, apresenta alta produtividade e baixo custo de produção (Kinsella, 1979; Smith & Circle, 1979).

A soja é consumida pelo homem tanto na forma de grãos como na forma de farinhas, após tratamento térmico adequado, visando reduzir ou eliminar os fatores antinutricionais presentes. Quando conduzidos para a extração do óleo vegetal, obtém-se a torta ou farelo resultante que, ao ser utilizado como matéria-prima, é transformado em farinhas de soja desengordurada (FSD) para alimentação humana e animal (Freitas et al., 2000). Os produtos proteicos de soja na forma de farinha, isolado e concentrado têm sido utilizados, basicamente, como melhoradores tecnológicos de alimentos industrializados (Morais & Silva, 1996).

A soja e os produtos à base de soja são os únicos alimentos de origem vegetal que fornecem quantidades apreciáveis de isoflavonas, sendo considerado um alimento funcional. Podem exercer tanto efeito estrogênico como antiestrogênico, dependendo de vários fatores, tais como sua concentração, concentração dos estrógenos endógenos, características individuais, sexo, idade e consumo na pré ou pós-menopausa. As características físicas dos isoflavonóides permitem sua aplicação na maioria das classes de produtos alimentícios. Estes são estáveis ao calor e seu uso é cada dia mais frequente, tanto como suplemento dietético em pílulas e tabletes, como em alimentos funcionais, na forma de barras de cereais, cereais matinais, bebidas e pães (Colugnati, 2003).

Apesar de ser uma excelente fonte proteica, com uma das melhores composições de aminoácidos essenciais entre as proteínas de origem vegetal e alta digestibilidade, a soja possui baixas quantidades de metionina e cisteína

(Kellor, 1974). Contudo, para uso em uma dieta normal, a proteína de soja não necessita ser suplementada com metionina, quando destinada a adultos. Ela só se faz necessária em quantidades reduzidas, apenas em formulados infantis (Young, 1991).

3.1.3 Gergelim

O gergelim ou sésamo (*Sesamum indicum* L.) é uma oleaginosa, pertencente à família Pedaliaceae, cultivada em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo. É uma planta anual ou perene, dependendo da cultivar e se adapta bem às condições semi-áridas e apresenta facilidade de cultivo, características que o transformam em excelente opção de diversificação agrícola e grande potencial econômico, no mercado nacional e internacional, em decorrência da elevada qualidade do seu óleo, com aplicações nas indústrias alimentícias e cosméticas (Barros et al., 2001; Beltrão et al., 2001).

O Brasil caracteriza-se como pequeno produtor de gergelim, com 13 mil toneladas produzidas numa área de 22 mil hectares e rendimentos médios em torno de 519 kg/ha. Os maiores produtores, atualmente, no Brasil em ordem decrescente são os estados de Goiás e Mato Grosso, o triângulo mineiro e a região Nordeste (Barros et al., 2001).

Seus grãos têm inúmeras utilidades, tanto para uso na alimentação humana, animal bem como para o uso medicinal. Apresentam tamanho reduzido, forma achatada e coloração variando do branco ao preto. A razão econômica de seu cultivo (nona oleaginosa mais cultivada no mundo) é dada à superioridade do óleo extraído de seus grãos, bem como à torta resultante da sua extração, quando comparados a outras oleaginosas, a exemplo da soja e girassol (Beltrão et al., 1994).

Nos países orientais, o gergelim integral é considerado restaurador da vitalidade, graças a quantidades significativas de vitaminas, principalmente, do

complexo B, constituintes minerais, como cálcio, ferro, fósforo, potássio, magnésio, sódio, zinco e selênio; proteínas de alto valor biológico e lipídios (44% a 58%), constituídos, em sua maioria, por ácidos graxos insaturados como o oléico (47%) e o linoléico (41%) e, quando consumido frequentemente, contribui na redução dos níveis de colesterol LDL-c no sangue (Aboissa Óleos Vegetais, 2006 citado por Costa et al., 2007).

A excelente qualidade e o agradável sabor do óleo fazem com que os europeus o usem em substituição ao azeite de oliva. Além dos fins alimentícios, o óleo encontra diversas aplicações na indústria química, fitoterápica e fitocosmética, para confecção de cremes hidratantes, sabonetes, loções e filtros solares (Barros et al., 2001).

O óleo de gergelim apresenta vários constituintes secundários que são importantíssimos na definição de suas qualidades. Entre eles, encontram-se o sesamol, a sesamina e a sesamolina. O sesamol, com suas propriedades antioxidantes, oferece ao óleo uma elevada estabilidade química, ao evitar a rancificação sendo, entre os demais óleos de origem vegetal, o que apresenta maior resistência à oxidação (Beltrão, 1994; Firmino, 1996). Outra característica peculiar do óleo de gergelim é a sua função de ativador de certas substâncias inseticidas, como a rotenona e a piretrina, cujos efeitos tóxicos são aumentados em presença do óleo de gergelim. Esta propriedade não foi encontrada em nenhum outro óleo e, no gergelim, é atribuída, principalmente, à sesamina (Silva, 1983). Os constituintes do óleo de gergelim podem ser vistos na Tabela 2.

TABELA 2 Composição média do óleo de gergelim.

Constituintes do óleo de gergelim	Teor de ácidos graxos (%)
Ácido oleico	45,3 – 49,4
Ácido linoleico	37,7 – 41,2
Ácido palmítico	7,8 – 9,1
Ácido esteárico	3,6 – 4,7
Ácido araquídico	0,4 – 1,1
Ácido hexadecanoico	0,0 – 0,5
Ácido mirístico	0,1

Fonte: Yermanos et al. (1972)

A torta de gergelim, resíduo obtido da prensagem dos grãos para obtenção do óleo, é rica em proteínas (39,7%). Contém fibras (4,7%) e pequena quantidade de lipídios, como pode ser visto na Tabela 3, com elevados teores de vitaminas do complexo B e alta concentração de aminoácidos que contêm enxofre, especialmente a metionina (1,48%). Esta concentração é de duas a três vezes mais que as encontradas nas tortas de soja, algodão e amendoim (Araújo et al., 2006).

TABELA 3 Composição média do gergelim integral (Weiss, 1983) e torta de gergelim (Morrison, 1966)

Composição	Gergelim integral (%)	Torta de gergelim (%)
Umidade	5,4	8,2
Proteína	18,6	39,7
Lipídeo	49,1	12,8
Fibra total	6,3	4,7
Cinza	5,3	11,8
ENN*	20,7	22,8

*extrato não nitrogenado (obtido por diferença).

Sankar et al. (2006) estudaram a substituição total de outros óleos pelo óleo de gergelim na dieta de pacientes hipertensos e observaram redução na

pressão arterial e efeitos benéficos sobre os níveis de triacilgliceróis, eletrólitos, peroxidação lipídica e antioxidantes. Namiki (2007), também, concluiu que o óleo de gergelim possui efeito no metabolismo de ácidos graxos, diminuindo o colesterol do sangue, principalmente, quando combinado com tocoferol, em virtude de inibição da absorção do intestino e supressão da síntese no fígado. Além disso, acelera a decomposição do álcool no fígado, possui atividade anti-hipertensiva, imunomoduladora, anticarcinogênica, entre outras.

3.2 Complementação de proteínas vegetais

A alimentação é um dos itens que mais oneram o orçamento doméstico das famílias de baixa renda e, dentre estes, as fontes proteicas são, geralmente, as de custo mais elevado. De acordo com o padrão cultural, as famílias procuram incluir, em suas dietas, principalmente, o leite, a carne e os ovos, deixando de lado outros alimentos com qualidade proteica equivalente e de menor custo relativo, por não fazerem parte de seus hábitos alimentares (Pereira et al., 2003).

Em face da necessidade de alimentos com maior teor de proteínas de elevado valor biológico e de custo reduzido, torna-se importante a busca de novas fontes como as proteínas vegetais, adequadamente, combinadas (Pereira et al., 2003).

A combinação da proteína de soja com outros vegetais revela-se, nutricionalmente, superior a cada uma delas isoladamente. Experimentos conduzidos com animais têm demonstrado o efeito suplementar da soja em relação às proteínas de milho, centeio, arroz, trigo e outros (Jarquin et al., 1966).

As proteínas de soja, como são comuns às leguminosas, apresentam teores reduzidos dos aminoácidos sulfurados, metionina e cistina e um teor elevado do aminoácido lisina. Já as proteínas dos cereais apresentam esta composição de aminoácidos em situação inversa. Portanto, a combinação de

leguminosas e cereais permite a complementação dos aminoácidos essenciais com melhor qualidade (Elias et al., 1968; Bakar & Hin, 1984; Giarbieri, 1987).

O perfil de aminoácidos das proteínas do arroz atende às necessidades de aminoácidos essenciais de indivíduos adultos, porém, não supre as necessidades de aminoácidos de pré-escolares segundo o padrão FAO/OMS/UNU (Organización Mundial de la Salud - OMS, 1985). O arroz, quando consumido com leguminosas, como é o caso da mistura arroz com feijão, resulta em proteína com melhor qualidade nutricional (Joseph & Swanson, 1993), por causa dos níveis dos aminoácidos limitantes em cada proteína (do cereal e da leguminosa) que são corrigidos na mistura (Young & Pellett, 1994). Assim, o arroz constitui fonte de proteína de boa qualidade, quando complementado com quantidades adequadas de proteínas de leguminosas (Naves et al., 2004; Veiga et al., 1985), ou com quantidades menores de proteínas de origem animal (Hernández et al., 1996).

Misturas como milho:soja e arroz:soja, na proporção de, aproximadamente, 30% da proteína obtida do cereal e 70% da proteína da leguminosa (Giarbieri, 1987) e uma mistura de arroz e isolado proteico de soja com 46%:54% (Bakar & Hin, 1984) resultaram em alimento com proteína de alta qualidade, na qual os aminoácidos se completam entre si. Hulse et al. (1977), citados por Brody (1994), relataram que a combinação de 50% de proteína provinda do arroz com 50% de proteína da leguminosa melhorou a qualidade das proteínas de cada uma isoladamente.

Elias et al. (1968) trabalharam com ratos em laboratório para determinar a melhor combinação proteica da mistura arroz e soja e observaram que a combinação de 42%:58% de proteína do arroz com a proteína da soja foi a que obteve melhores resultados em termos de crescimento e ganho de peso.

Al-Nouri et al. (1980) estudaram a complementação de proteínas de feijão fava (*Vicia faba* var. Major) e gergelim (*Sesamum indicum* L.) em ratos e

concluíram que uma dieta padrão, com 75% da proteína, foi fornecida por favas e 25% por gergelim. Houve uma eficiência proteica (PER) de 2,36 e a dieta com 50% da proteína de cada obteve um PER de 2,41, em comparação com uma caseína PER ajustado a 2.50. O PER de favas é 0,99 e de gergelim 1,55, isoladamente; pode-se afirmar, então, que são mutuamente complementares.

Nielsen et al. (1983), também, observaram que a melhor combinação entre o gergelim e o feijão comum foi de 50%:50%, para uma melhor adequação nutricional.

Estudo feito por Maia et al. (1999) constataram que a melhor combinação entre a farinha desengordurada de gergelim (FDG) e farinha extrudada de feijão caupi (FEFC) (*Vigna unguiculata* L. Walp) foi de 65:35% de proteína, respectivamente, obtendo valores de escore químico de 105,95% para aminoácidos sulfurados e 111,64% para lisina, uma vez que a FDG apresenta alta concentração de aminoácidos sulfurados e a FEFC de lisina.

Além da qualidade proteica, as misturas de proteínas vegetais apresentam excelente fonte de minerais e podem, em determinada proporção, suprir ou complementar a recomendação diária de nutrientes, evitando patologias ocasionadas pela deficiência nutricional.

3.3 Extrusão termoplástica

Na área de alimentos, o processo de extrusão termoplástica possibilita, com pouca ou nenhuma modificação dos equipamentos básicos e com um controle apropriado do processo, a produção de uma grande variedade de produtos: cereais matinais, *snacks*, amidos modificados, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, produtos cárneos e rações animais (El-Dash, 1981). Dentre os produtos fabricados por extrusão, os cereais matinais e os *snacks* têm sido apontados como os mais importantes (Baik et al., 2004).

Segundo Guy (2001), o processo de extrusão termoplástica pode ser dividido, basicamente, em três etapas: o pré-condicionamento, em que é feito o ajuste de umidade da matéria-prima a ser extrudada; a extrusão propriamente dita, ou seja, a inserção de matéria-prima no extrusor e a modificação da mesma em relação às suas características físico-químicas e sensoriais; e a pós-extrusão, que representa o tratamento que o produto sofre após ter sido extrudado, destacando-se a secagem.

No processo de extrusão, o material pré-condicionado (geralmente entre 15 e 30% de umidade) ou seco é inserido no extrusor por meio de um alimentador, chegando à zona de alimentação. A rosca ou parafuso nesta zona apresenta maior profundidade e um maior passo e tem como função básica o transporte da matéria-prima. O material é conduzido da zona de alimentação para a zona de compressão. Na zona de compressão, ocorre uma redução na profundidade da rosca e uma redução no passo da mesma, com consequente aumento na taxa de cisalhamento, na temperatura (110 - 180°C) e na pressão (20 – 30 atm). Na zona de alta pressão, a rosca tem a sua profundidade e o seu passo diminuído ainda mais, resultando em maior cisalhamento e geração de calor. Sendo assim, a massa atinge os valores máximos de temperatura, pressão e viscosidade, imediatamente, antes de sair do extrusor (Fellows, 2000; Riaz, 2002). O material, sob alta pressão, é expelido por uma matriz e, em contato com a pressão ambiente, expande-se para a forma final e resfria-se, rapidamente, valendo-se da vaporização da água (Fellows, 2000). No material não previamente condicionado, a água é inserida, na forma líquida ou de vapor, durante o processo (El-Dash, 1981). O produto que sai do extrusor é, geralmente, submetido ao processo de secagem, podendo chegar a valores próximos de 2% de umidade, como no caso de *snacks* extrudados (Riaz, 2002).

3.3.1 Vantagens da aplicação do processo de extrusão

A tecnologia de extrusão, em virtude da sua versatilidade operacional e suas múltiplas funções, tem encontrado um vasto campo de aplicações na área alimentícia, seja para consumo humano, seja para ração animal.

A extrusão é um processo contínuo, cujo trabalho mecânico combinado com calor, gelatiniza o amido, desnatura as proteínas, além de favorecer a formação de complexos entre lipídios, proteínas e amido, plastifica e reestrutura o material, comprimindo-o por intermédio de uma matriz, com o objetivo de criar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas (Mercier et al., 1980; Boonyasirikool & Charunuch, 2000; Hwang, 2001; Reyes-Moreno et al., 2002).

O processo de extrusão tornou-se uma importante técnica dentro de uma crescente variedade de processamento de alimentos. O uso da extrusão termoplástica possui muitas vantagens distintas como (Stanley, 1986) a versatilidade, pois, grande variedade de produtos pode ser fabricada, considerando-se um mesmo sistema básico de extrusão; alta produtividade, já que o extrusor fornece uma enorme capacidade de produção, quando comparado a outros sistemas de cozimento/moldagem; baixo custo, em função das demandas de espaço físico e mão-de-obra por unidade de produção serem menores que aquelas de outros sistemas de cozimento/moldagem; formato dos produtos, uma vez que extrusoras podem produzir formatos variados, não facilmente obtidos, quando se utilizam outros métodos de produção; alta qualidade dos produtos, provocada pelo processamento de utilizar temperaturas por período curto de tempo (HTST), que minimiza a degradação de nutrientes, enquanto destrói a maioria dos microrganismos ou outras pragas; fabricação de novos produtos, extrusores podem modificar as proteínas vegetais, amidos e outras matérias-primas a fim de se obter novos produtos; e não gera resíduos,

uma vez que não é produzido nenhum efluente ou material de risco durante ou após o processamento.

A habilidade do extrusor, ao trabalhar com um número variado de ingredientes e condições de processamento, assegura sua versatilidade e alarga a aplicabilidade de uma grande cadeia de produtos alimentares (Harper, 1978 apud Borba, 2005). O extrusor processa material relativamente seco ou viscoso e melhora as características de sabor e textura dos alimentos (Stanley, 1986).

Embora a extrusão seja um processo tecnológico simples, seu controle é complicado, graças ao grande número de variáveis envolvidas no processo e sua complexidade. O controle das condições de extrusão, tais como temperatura, velocidade do parafuso, taxa de compressão da rosca, taxa de alimentação, teor de umidade e componentes de alimentação, é essencial para garantir a boa qualidade do produto e evitar as perdas de nutrientes (El-dash, 1981; Carvalho, 2000).

A aplicação de calor úmido em grãos de cereais e tubérculos induz modificações físico-químicas nos grânulos de amido que levam a mudanças reológicas e texturais e aumento da digestibilidade e disponibilidade como fonte de energia (Cheftel, 1986).

As principais mudanças físico-químicas e bioquímicas que ocorrem na proteína dos alimentos, durante a extrusão, são a melhoria da digestibilidade e a inativação de enzimas e inibidores de proteases, por causa da desnaturação pela aplicação de calor úmido e cisalhamento (Pellet & Young, 1980). Ferreira (1999) cita que, durante a extrusão, as proteínas nativas passam por uma total desagregação com a fusão em uma suspensão homogênea que propicia a desnaturação, dissociação e formação de filamentos que se alinham no sentido do fluxo até a expulsão da máquina. Com a desnaturação surgem proteínas com diferentes pesos moleculares, bem como aminoácidos até então indisponíveis,

podendo ocorrer reação com açúcares redutores e outros componentes (reação de Maillard) (Anderson et al., 1969; Bataglia, 1990).

A utilização da pressão na extrusão faz com que este processo apresente algumas vantagens em relação aos demais tipos de processos, tais como: inibição de fatores antinutricionais; minimização das reações de Maillard, em razão do curto tempo de retenção dentro do extrusor (Bataglia, 1990); retardamento na rancificação das gorduras (Pablos, 1986; Herkelman, 1990) e diminuição nas perdas de vitaminas, principalmente, as lipossolúveis (Jorge Neto, 1992).

O processo de extrusão desnatura as enzimas que causam rancidez ou outras deteriorações nos alimentos, como a urease que reduz a vida útil do produto e a lipoxigenase que causa *off flavor* pela oxidação do óleo de soja, inativa fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina da soja, que reduz a digestibilidade da proteína. Proporciona, também, ao produto esterilidade ou redução da população microbiológica, aumentando a vida útil, o sabor do alimento e a aceitabilidade dos alimentos pelo consumidor (Fellows, 2002).

3.3.2 Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão e sua influência nas características tecnológicas

O amido, frente a alguns componentes do material a ser extrudado, como proteínas, lipídios e fibras, sofre efeito em suas propriedades físicas e funcionais, pois, a interação ocorrida diminui a degradação do amido, que é responsável pelas propriedades físicas, tecnológicas funcionais e sensoriais dos extrudados expandidos, embora haja pouca informação sobre as mudanças que ocorrem na fração dos alimentos durante a extrusão (Gomes & Aguilera, 1983).

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 na parte externa 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 permitem uma alta expansão do produto na saída do equipamento. Dada às suas características, essas interações são facilmente rompidas por água, fazendo com que produtos altamente expandidos, contendo predominantemente amido, desintegram-se facilmente quando umedecidos (Arêas, 1992; Riaz, 2001).

A interação de amido e polissacarídeos em geral com proteínas pode gerar o aparecimento de duas fases em soluções aquosas, em razão da incompatibilidade termodinâmica que se observa entre alguns polissacarídeos e proteínas. A presença de certos polissacarídeos, principalmente carregados, até mesmo em concentrações pequenas, pode prejudicar, consideravelmente, a extrusão de proteínas, compactando o produto. Esta compactação ocorre graças à interação de polissacarídeos/proteínas que, pela separação de fases, tende a reduzir o volume ocupado pelas proteínas na solução, reduzindo, assim, a expansão do produto final. Geralmente a extrusão de grande quantidade de amido na presença de menor quantidade de proteína não interfere no processo pelo menos quanto às características do produto final (Arêas, 1992)

O amido interage durante a extrusão com lipídios ou outras espécies apolares, capazes de ocupar a região das hélices formadas pelas macromoléculas de amilose e amilopectina. Os lipídios que melhor interagem com o amido são os monoacilgliceróis e a sua presença é benéfica ao produto quando sua concentração, ainda, não atingiu o limite de saturação das hélices. Quando os lipídeos estão presentes em concentrações além da capacidade de interação das hélices, a sua presença prejudica o processo e diminui a expansão do produto (Arêas, 1992). Na presença de lipídeos, o amido sofre menores modificações e pode agir como lubrificante na extrusão, mas cada tipo de lipídeo tem um efeito distinto (Colonna et al., 1987).

De acordo com o Wenger, citado por Bertipaglia (2002), os níveis de lipídeos nas formulações de produtos extrudados não podem exceder 30%, mas no processamento utiliza-se um limite de até 20%, sendo o restante aplicado em cobertura externa, por meio do processo de pulverização. Até um nível de 8%, a gordura confere oleosidade e plasticidade à massa, acima disso, reduz o grau de expansão e aumenta a densidade do produto.

Assim, a adição de baixos níveis de lipídios pode beneficiar o processo de extrusão de amido-proteína por ter pouco ou nenhum efeito e prevenir a formação de materiais insolúveis nos produtos extrudados expandidos (Thymi et al., 2005).

3.4 Barras alimentícias

Durante o início dos anos 90, barras energéticas e nutritivas eram, predominantemente, consumidas por atletas ciclistas, que escalavam montanhas ou corriam maratonas. Hoje, mais pessoas comuns estão consumindo barras energéticas e nutritivas. O segmento vem se tornando cada vez mais específico, destinado a homens e mulheres com necessidades fisiológicas diferentes. Além disso, as alterações na rotina diária de parte da população têm provocado um considerável aumento na demanda e na ampliação do desenvolvimento de produtos de conveniência, prontos para consumo (Palazzolo, 2003).

Barra de cereais, portanto, é um produto obtido da mistura ou da combinação de três ou mais alimentos higienicamente preparados, com específicos valores nutritivos e sabores característicos, acrescentado de agente ligante que lhe confere textura adequada. Essas barras são embaladas e comercializadas, geralmente, em porções individuais de 25 a 30 gramas (Gomes & Montenegro, 2006)

No Brasil, as barras são caracterizadas pelo termo barra de cereais, porque são a principal matéria-prima utilizada no produto. Mas, a necessidade

de diversificação estimula pesquisas científicas e de mercado para inovações e alternativas, aprimorando este segmento com diversificação das barras. É importante ressaltar que o produto barra, geralmente, recebe comercialmente o nome de barra de cereais, mas a denominação “barras alimentícias”, também, é verificada, que seria usualmente mais correto, conforme Brito et al. (2004), pois, existe uma diversificação de componentes utilizados na sua composição.

São alimentos de fácil consumo, requerem um processamento rápido e durante muito tempo seus valores nutritivos foram pouco enfatizados. Os cereais em barra são uma classe de produtos de confeitaria, de forma retangular, vendidos em embalagens individuais e têm apresentado um rápido crescimento no mercado. Os principais aspectos considerados na elaboração desse produto incluem: a escolha da matéria-prima, a seleção do carboidrato apropriado (de forma a manter o equilíbrio entre o sabor e a vida de prateleira), o enriquecimento com vários nutrientes e sua estabilidade no processamento. Tem sido considerado seu valor nutricional e preferido pelo alto conteúdo de fibras e baixo teor ou isento de gordura, porém, com alto aporte energético.

Entre os alimentos prontos, as barras de cereais auxiliam no aporte energético, protéico, lipídico, vitamínico, de minerais e de fibras, conforme ingredientes constituintes do produto e que atendem aos consumidores de acordo com as necessidades dietéticas de cada um. Sua popularidade está entre os mais sofisticados consumidores por meio de apelos, como possuir ingredientes saudáveis e naturais. O grande desafio nas tendências atuais é a inserção de consumidores de baixo poder aquisitivo na obtenção para o consumo deste produto (Brito et al., 2004; Gomes & Montenegro, 2006).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-NOURI, F. F.; SIDDIQI A. M.; MARKAKIS, P. Protein supplementation of broad beans with sesame. **Food Chemistry**, London, v. 5, n .4, p. 309-313, June 1980.

ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E. Parâmetros de extrusão para produção de “snacks” de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia do Alimento**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 32-38, jan./abr. 2002.

ARAÚJO, A. M; SOARES, J. J.; BELTRÃO, N. E. M.; FIRMINO, P. T. **Cultivo do gergelim**. Campina Grande: Embrapa/CNPA, 2006.

ARÊAS, J. A. G. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, Boca Raton, v. 32, n. 2, p. 365-392, 1992.

BAKAR, J.; HIN, Y. S. High-protein rice-soya breakfast cereal. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 8, n. 3/4, p.163-174, Nov. 1984.

BARROS, M. A. L.; SANTOS, R. F.; BENATI, T.; FIRMINO, P. T. Importância econômica e social. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **O agronegócio do gergelim no Brasil**, Campina Grande: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 21-35.

BATAGLIA, A. M. A extrusão no preparo de alimentos para animais. In: SIMPÓSIO DO COLÉGIO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 3., 1990, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1990. p. 73-82.

BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Gergelimcultura no trópico semi-árido nordestino**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1994. (Circular Técnica, 18).

BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J. G.; PEREIRA, J. R. Fitologia. In: BELTRÃO, N. E. M.; VIEIRA, D. J. (Ed.) **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia, 2001. p. 37-57

- BERTIPAGLIA, L. M. A. **Avaliação dos efeitos das temperaturas de extrusão em misturas de soja integral e milho.** 2002. 134p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- BHATNAGAR, S.; HANNA, M. A. Physical, mechanical and thermal properties of starches-based plastic foams. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 38, n. 2, p.567-571, 1995.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos.** 2. ed. São Paulo: Varela, 1992. v. 1, 151 p.
- BOONYASIRIKOOL, P.; CHARUNUCH, C. Development of nutritious soy fortified snack by extrusion cooking. **Natural Science Journal**, Copenhagen, v. 34, n. 3, p. 355-365, Mar. 2000.
- BORBA, A. M. **Efeito de alguns parâmetros operacionais nas características físicas, físico-químicas e funcionais de extrudados da farinha de batata-doce (Ipomoea batatas).** 2005. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- BRITO, I. P.; CAMPOS, J. M.; SOUZA, T. F. L.; WAKIYAMA, C.; AZEREDO, G. A. Elaboração e avaliação global de barra de cereais caseira. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 35-30, jan/jun. 2004.
- CARVALHO, R. V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão:** caracterização texturométrica e microestrutural. 2000. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chemistry**, London, v. 20, n. 3, p. 263-283, 1986.
- COLONNA, P.; MERCIER, C. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 3, n. 2, p. 87-108, 1983.
- COLUGNATI, P. G. **Propriedades físicas e funcionais de aglomerados a base de proteína de soja.** 2003. 89p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

COSTA, M. L. M.; GONDIM, T. M. S.; ARAÚJO, I. M. S.; MILANI, M.; SOUSA, J. S.; FEITOSA, R. M. Características Físico-químicas de Sementes de Genótipos de Gergelim. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 867-869, jul. 2007. Suplemento 1.

DEOBALD, H. J. Rice flours. In: HOUSTON, D. F. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1972. p. 264-269.

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, 1981. p. 165-21.

ELIAS, L. G.; JARQUIN, R.; BRESSANI, R. Suplementación del arroz com concentrados protéicos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 28, n. 1, p. 27-38, mar. 1968.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

FELLOWS, P. Extrusion. In: _____. **Food processing technology: principles and practice**. Cambridge: Woodhead, 2002. cap. 14, p. 294-308.

FERREIRA, T. A. P. C. **Avaliação nutricional do amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) extrudado em diferentes condições de umidade**. 1999. 157p. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

FIRMINO, P. de T. **Gergelim: sistemas de produção e seu processo de verticalização, visando produtividade no campo e melhoria da qualidade da alimentação humana**. Campina Grande: Embrapa/CNPA, 1996.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Amino-acid content of food and biological data on proteins**. Rome, 1970. (FAO Nutritional Studies, 24).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Arroz híbrido para contribuir a la seguridad alimentaria**. Rome, 2004. Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2004/es/rice2.htm>>. Acesso em: 17 set. 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **El arroz y la nutrición humana**. Rome, 2004.

GIARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição**: fator de saúde e desenvolvimento. São Paulo: Almed, 1987. 387p.

GIARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos**: propriedades, degradações e modificações. São Paulo: Varela, 1996.

GOMES, C. R.; MONTENEGRO, F. M. **Curso de tecnologia de barras de cereais**. Campinas: ITAL, 2006.

GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 2, p. 378-381, Mar. 1983.

GUY, R. **Extrusion cooking**: technologies and applications. Cambridge: Woodhead, 2001. 288p.

HEINEMANN, R. J. B.; FAGUNDES, P. L.; PINTO, E. A.; PENTEADO, M. V. C.; LANFER-MARQUEZ, U. M. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 18, n. 4, p. 287-296, June 2005.

HERKELMAN, K. L.; CROMWELL, G. L. Utilization of full-fat soybeans by swine reviewed. **Feedstuffs**, Minnetonka, v. 62, n. 17, p. 15-22, Dec. 1990.

HERNÁNDEZ, M.; MONTALVO, I.; SOUSA, V.; SOTELO, A. The protein efficiency ratios of 30:70 mixtures of animal:vegetable protein are similar or higher than those of animal foods alone. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 126, n. 2, p. 574-581, Feb. 1996.

HWANG, J. K. Production of functional carbohydrates by the extrusion reactor. **Food Science and Biotechnology**, Kyung Hee, v. 10, n. 4, p. 455-459, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, 2008. <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_imprensa.php?id_noticia=1086>. Acesso em: 2 set. 2009.

- JARQUIN, R.; NORIEGA, P.; BRESSANI, R. Enriquecimiento de harinas de trigo, blanca e integral, con suplementos de origen animal y vegetal **Archivo Latineamericano Nutrition**, Caracas, v. 16, p. 89-103, 1966.
- JORGE NETO, G. J. Soja integral na alimentação de aves e suínos. **Avicultura Industrial**, São Paulo, v. 82, n. 988, p. 4 -15, 1992.
- JOSEPH, E.; SWANSON, B. G. Growth and nitrogen retention of rats fed bean (*Phaseolus vulgaris*) and bean and rice diets. **Food Research International**, Barking, v. 26, n. 4, p. 261-269, 1993.
- JULINO, B. O. The rice caryopsis and its composition. In: HOUSTON, D. F. **Rice: chemistry and technology**. 2. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1972. v. 4, p. 16-27
- KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, London, v. 80, n. 4, p. 589-596, Apr. 2003.
- KINSELA, J. E. Functional properties of soy proteins. **Journal of American Oil Chemistry Society**. Champaign, v. 56, n. 3, p. 242-258, Mar. 1979.
- MAIA, G. A.; CALVETE, Y. M. A.; TELLES, F. J. S.; MONTEIRO, J. C. S.; SALES, M. G. Eficiência da farinha desengordurada de gergelim como complemento protéico da farinha extrudada de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1295-1303, jul. 1999.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação de estudo nutricional de plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201p.
- MAURON, J. The analysis of food proteins: amino acid composition and nutritive value. In: PORTER, J. W. G.; ROLLS, B. A. **Proteins in human nutrition**. London: Academic, 1973. p. 139-154.
- MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. 2. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471p.
- MORAIS, A. A. C.; SILVA, A. L. **Soja: suas aplicações**. Rio de Janeiro: MEDSI, 1996, 259p.
- MORRISON, F. B. **Alimentos e alimentação dos animais**. São Paulo: Melhoramentos, 1966. 892p.

NAMIKI, M. Nutraceutical functions of sesame: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Ranton, v. 47, n. 7, p. 651-73, July 2007.

NAVES, M. M. V.; SILVA, M. S.; CERQUEIRA, F. M.; PAES, M. C. D. Avaliação química e biológica da proteína do grão em cultivares de milho de alta qualidade protéica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 1, p. 1-8, jan./abr. 2004.

NIELSEN, B.; HEVIA, P.; BRITO, O. Study on the complementation of two proteins of low quality: black bean (P.v.) and sesame (S.i.). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 6, p. 1804-1806, Nov. 1983.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. **Necesidades de energía y de proteínas**. Ginebra, 1985. (OMS Série de Informes Técnicos, 724).

PABLOS, J. B. Consideraciones sobre el uso de la soya integral en La alimentación de las aves. **Soya (ASA)**, Cidade de Mexico, v. 61, p. 1-4, 1986.

PALAZZOLO, G. Cereal bars: they're not just for breakfast anymore. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 48, n. 2, p. 70-72, Mar./Apr. 2003.

PELLET, P.L.; YOUNG, V. R. **Nutritional evaluation of protein foods**. Tokyo: The United Nations University, 1980. 154p.

PEREIRA, G. M.; MELO, H. N. S.; ANDRADE, C. O.; SILVA, D. A. Viabilidade de reuso de águas residuárias tratadas no cultivo de gergelim (*Sesamum indicum* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003. CD-ROM.

POLANCO, I.; MOLINA, M.; PIETRO, G.; CARRACO, S.; LAMA, R. Dieta y enfermedad celíaca. **Alimentaria**, Madrid, v. 33, n. 264, p.91-93, 1995.

REYES-MORENO, C.; MILÁN-CARRILLO, J.; ROUZAUD-SANDEZ, O.; GARZÓNTIZNADO, J. A.; MORA-ESCOBEDO, R. Descascarillado/ suavización/extrusión (dse): alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) **Agrociencia**, Montecillo, v. 36, n. 2, p. 181-189, Apr. 2002.

RIAZ, M. N. Selecting the right extruder. In: GUY, R. (Ed.). **Extrusion cooking: technologies and applications**. Cambridge: Woodhead, 2001.

SAIKUSA, T.; HORINO, T.; MORI, Y. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, n. 9, p. 1122-1125, 1994.

SANKAR, D.; RAO, M. R.; SAMBANDAM, M.; PUGALENDI, K.V. Effect of Sesame Oil on Diuretics or β -blockers in the Modulation of Blood Pressure, Anthropometry, Lipid Profile, and Redox Status. **Yale Journal of Biology and Medicine**, New Haven, v. 79, n. 1, p. 19-26, Jan./Dec. 2006.

SILVA, L. C. **Cultura do gergelim**. Campina Grande: Embrapa/CNPA, 1993. 15p.

SMITH, A. K.; CIRCLE, S. J. **Soybeans: chemistry and technology**. Connecticut: Avi, 1972. 470p.

STANLEY, D. W. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 3, p. 65-68, 1986.

STONE, S. M.; SIDEL, J. **Sensory evaluation practices**. 2. ed. San Diego: Academic, 1993.

TEJERINA, J.; GOMEZBRENES, R.A.; BRESSANI, R. Effect of various processes on protein quality of a food base don corn and whole soybeans. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 27, n. 2, p. 186-194, jun. 1977.

THIMY, S.; KROKIDA, M. K.; PAPPAS, A.; MAUROLIS, Z. B. Structural properties of extruded corn starch. **Journal of Food Engineering**, La Rochelle, v. 68, n. 4, p. 519-526, June 2005.

TORRES, R. L.; GONZÁLES, R. J.; SÁNCHEZ, H. D.; OSELLA, C. A.; TORRES, M. A. G. Comportamiento de variedades de arroz en la elaboración de pan sin gluten. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 9, n. 2, p. 162-165, jun. 1999.

VEIGA, E. V.; VANNUCCHI, H.; MARCHINI, J. S.; OLIVEIRA, J. E. D. The nutritive value of a Rice and soybean diet for adults. **Nutrition Research**, Tarrytown, v. 5, n. 6, p.577-583, June 1985.

YERMANOS, D.M.; HEMSTREET, S.; SALEEB, W. Oil content of the seed in world collection of sesame introductions. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Chicago, v. 49, n.1, p. 20-23, Jan. 1972.

YOUNG, V. R. Soy protein in relation to human protein and amino acid nutrition. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 91, n. 7, p. 400-405, Jan. 1991.

YOUNG, V.R.; PELLETT, P.L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. **American Journal Clinical and Nutrition**, New York, v.59, n.5, p. s1203-s1212, May 1994.

WEISS, E. A. Sesame. In: _____. **Oil seed crops**. London: Longman, 1983. p. 282-340.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E FUNCIONAIS DOS *SNACKS* EXTRUDADOS EXPANDIDOS À BASE DE ARROZ, SOJA E GERGELIM

1 RESUMO

Com este trabalho objetivou-se obter, por meio da extrusão termoplástica, *snacks* ou extrudados expandidos de arroz, soja e gergelim e analisar suas propriedades físicas e funcionais perante seus constituintes. Os *snacks* foram elaborados considerando-se grits de arroz (GA), farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG), sendo fixa a quantidade de GA e FDS na proporção de 50%:50% de proteína, para uma melhor complementação dos aminoácidos; e variando a quantidade de GI e TG em 5, 10, 15 e 20%. No processo de extrusão, utilizou-se extrusora comercial de rosca simples Inbramaq RX50, com capacidade de 50kg/h, com velocidade de rotação do parafuso 378rpm, matriz de 4 furos (1mm) e umidade do material de 12%. Os extrudados expandidos foram secos em estufa com circulação de ar a 50°C por 24 h e armazenados em embalagens herméticas. Com o resultado das análises, pôde-se mostrar que, com o aumento do teor de GI e TG, resultou na diminuição do índice de expansão, cor, índice de absorção, solubilidade em água e aumento na densidade aparente e no volume total de poros. Obtiveram-se, assim, *snacks* com textura rígida, quando comparados com *snacks* de arroz e soja. O elevado teor de lipídeo, presente na GI e na TG, foi prejudicial no processo de extrusão. Entretanto, foi possível obter *snacks* expandidos de arroz e soja com níveis de até 15% de GI e 20% de TG.

Palavras-chave: Extrusão, características físicas, gergelim

2 ABSTRACT

The objective of this work was to obtain, by thermoplastic extrusion, snacks or expanded extruded of rice, soybeans and sesame and analyze their physical and functional properties from their constituents. The snacks were prepared from rice grits (GA), defatted soybean flour (FDS), integral sesame (GI) and defatted flour (TG) of sesame, fixing the amount of GA and FDS in the proportion of 50%: 50% protein, to a better complement of aminoacids and ranging the amount of GI and TG in 5, 10, 15 and 20%. In the extrusion process, a commercial extruder with simple screw Inbramaq RX50, capacity of 50kg/h, screw rotation speed of 378 rpm, matrix of 4 holes (1 mm) and the material moisture of 12%. The expanded extruded were dried in an oven with air circulation at 50 °C for 24 h and stored in airtight containers. The analysis showed that increase of GI and TG content, resulted in a decrease in the expansion index, color, absorption index, water solubility, and increase in density and total volume of pores, thus obtaining , snacks with hard texture when compared with snacks of rice and soybeans. The high concentration of lipid present in the GI and TG was ruling in the extrusion process. However, it was possible to obtain expanded snacks of rice and soybeans with levels of 15% of GI and 20% of TG.

Keywords: Extrusion, physical characteristics, sesame.

3 INTRODUÇÃO

A combinação da proteína de cereais com leguminosas, a exemplo do arroz e soja, revela-se, nutricionalmente, superior a cada uma delas isoladamente. Esta combinação atende às necessidades de proteína e energia, pois, a soja é rica em lisina e o arroz contém elevado teor de sulfúros proporcionando uma adequada combinação protéica (Jarquin et al., 1966; Giarbieri, 1996).

O arroz (*Oryza sativa* L) está entre os principais cereais cultivados mundialmente, ao lado do trigo e milho. Supre diretamente mais de 50% de todas as calorias ingeridas pela população mundial (Elias & Lorini, 2005) e, quando beneficiado, o amido representa até 90% do peso seco do grão (Roseney, 1991). A farinha de arroz tem diversas propriedades, algumas associadas com a variedade, pois, dependendo do tipo alteram as propriedades viscoelásticas, temperatura de gelatinização do amido, capacidade de retenção de água e outras com mudanças ocasionadas durante o processamento do arroz. Pesquisas com estas propriedades podem ser utilizadas no desenvolvimento de farinhas de arroz atrativas para a indústria e para o consumo. Tratamentos, como a extrusão, podem alterar as propriedades do amido de arroz fazendo dessas farinhas base excelente para o desenvolvimento de novos produtos (Houston, 1972).

A soja (*Glycine max*, L.) é uma das mais importantes fontes de proteína vegetal para a nutrição humana e animal. É utilizada na alimentação humana, principalmente, na forma de farinhas integral e desengordurada, de concentrados e isolados protéicos de soja. A utilização de suas proteínas em alimentos industrializados apresenta diversas vantagens tecnológicas, como o aumento de retenção de umidade, melhoria da textura, ligamento, coesão e rendimento final,

retenção dos atributos de qualidade em geral, cor agradável, melhor palatabilidade, aparência e valor nutricional (Araújo et al., 1997).

A utilização de alimentos à base de gergelim (*Sesamum indicum* L.) vem crescendo, consideravelmente, sendo empregado, principalmente, na suplementação de dietas humanas (Beltrão et al., 1994; Namiki, 1995). O grão integral possui em média 19% de proteína e 50% de óleo; 48% são ácidos graxos oléico e 42% linoléico (Firmino & Beltrão, 1997). O óleo possui propriedade antioxidante e conservante, representadas por alguns constituintes, como o sesamol, sesamina e a sesamolina.

A extração do óleo dos grãos de gergelim gera um subproduto denominado torta que é, principalmente, utilizado na alimentação animal como fonte de proteína por conter de 30 a 50% (Aboissa Óleos Vegetais, 2009). Entretanto, este resíduo, quando submetido a processos tecnológicos, provavelmente, deva gerar novos produtos com boas características nutricionais, podendo ser incrementados na dieta humana.

A extrusão é um dos processos em que se pode empregar um número variado de ingredientes e suas condições de processamento asseguram sua versatilidade e abrangem a aplicabilidade de uma grande cadeia de produtos alimentares (Harper, 1978 apud Borba, 2005). É um processo contínuo de um único estágio que envolve alta temperatura e pressão, que modifica as características físicas, químicas e nutricionais dos alimentos, por meio de uma combinação do calor com o atrito do material e o trabalho mecânico, promovendo a gelatinização do amido e desnaturação das proteínas, alterando, dessa forma, a textura e possibilitando a moldagem do material extrudado em diversas formas (Whalen, et al., 1997; Gutkoski, 1997).

Alguns componentes do material a ser extrudado, como proteínas, lipídios e fibras complexam e/ou interagem com o amido, durante o processo, diminuindo a degradação das moléculas do amido, que é responsável pelas

propriedades físicas, tecnológicas funcionais e sensoriais dos extrudados expandidos (Gujska & Khan, 1991; Bhatnagar & Hanna, 1994; Launay & Kone, 1999; Singh et al., 2006). Carvalho & Ascheri (2009) e Hashimoto & Grossmann (2003), estudando a adição de fibra na forma de farelo e Raphaelides et al. (2009) a adição de ácidos graxos em produtos extrudados, constataram que estes constituintes influenciaram, significativamente, as características físicas e funcionais.

Diante do exposto, com este trabalho objetivou-se obter *snacks* expandidos de arroz e soja com a adição de quantidades crescentes de gergelim, integral e torta; e analisar suas propriedades físicas e funcionais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matérias-primas para obtenção dos *snacks* expandidos

As matérias-primas utilizadas na obtenção dos extrudados expandidos foram: arroz, adquirido no comércio da cidade do Rio de Janeiro/RJ, o qual foi moído em moinho de discos marca Laboratory Mill 3600 (Perten Instruments, Kungens Kurva, Suécia) para obtenção do *grits* (farinha com granulometria mais grossa, conhecida, também, como canjiquinha); farinha de soja desengordurada (FDS), doada pela empresa Marsul (Montenegro/RS, Brasil); gergelim integral (GI), fornecido pela Embrapa algodão e torta de gergelim, obtida pela prensagem a frio dos grãos de gergelim com auxílio de uma extrusora tipo *expeller* CA59G OEKOTEC (IBG Monforts, Alemanha), utilizando uma matriz circular de 5mm e velocidade média. Foi, posteriormente, moída em moinho de discos Laboratory Mill 3600 (Perten Instruments, Kungens Kurva, Suécia), obtendo-se a farinha da torta de gergelim semi-desengordurada (TG) e armazenada sob refrigeração até o processamento.

4.2 Formulação dos *snacks* expandidos

Visando estabelecer a combinação protéica adequada de um cereal (arroz) e uma leguminosa (soja), utilizou-se a combinação de 50% de proteína do arroz com 50% de proteína, provinda da leguminosa (farinha desengordurada de soja - FDS), proposta por Hulse et al. (1977), citados por Brody (1994).

As formulações, para a obtenção dos *snacks* foram, portanto, determinadas considerando-se uma mistura fixa de arroz e FDS e variando as proporções de gergelim integral em 5, 10, 15 e 20%; e de torta de gergelim em 5, 10, 15 e 20%, perfazendo um total de nove (9) tratamentos, conforme Tabela 1.

TABELA 1 Formulação dos extrudados expandidos de arroz (A), farinha de soja desengordurada (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG)

Tratamento (T)	Arroz			FDS			GI		TG		Total	
	Proteína (%)	g	g/100g	Proteína (%)	g	g/100g	g	g/100g	g	g/100g	g	g/100g
A + FSD (T1)		88,80	88,80		11,20	11,20	0	0	-	-	100	100
A + FSD + GI _{5%} (T2)		88,80	84,57		11,20	10,67	5	4,76	-	-	105	100
A + FSD + GI _{10%} (T3)		88,80	80,73		11,20	10,18	10	9,09	-	-	110	100
A + FSD + GI _{15%} (T4)		88,80	77,22		11,20	9,74	15	13,04	-	-	115	100
A + FSD + GI _{20%} (T5)		88,80	74,00		11,20	9,33	20	16,67	-	-	120	100
A + FSD + TG _{5%} (T6)	50%	88,80	84,57	50%	11,20	10,67	-	-	5	4,76	105	100
A + FSD + TG _{10%} (T7)		88,80	80,73		11,20	10,18	-	-	10	9,09	110	100
A + FSD + TG _{15%} (T8)		88,80	77,22		11,20	9,74	-	-	15	13,04	115	100
A + FSD + TG _{20%} (T9)		88,80	74,00		11,20	9,33	-	-	20	16,67	120	100

4.3 Processo de extrusão

4.3.1 Preparo da matéria-prima

As matérias-primas foram pesadas e condicionadas a 12% de umidade, baseando-se em testes preliminares, cuja porcentagem de água, a ser adicionada, foi obtida de acordo com a Equação 1. Em seguida foram homogeneizadas manualmente por, aproximadamente, 3 min e armazenadas em embalagens plásticas fechadas hermeticamente e sob refrigeração (8°C), durante 24h para melhor distribuição e absorção de água. Após este período, as amostras foram submetidas ao processo de extrusão.

$$Y = (U_f - U_i) \times Pa / 100 - U_f \quad (1)$$

onde:

Y= quantidade de água a ser adicionada (mL)

U_f= umidade final da amostra (%)

U_i= umidade inicial da amostra (%)

Pa= peso da amostra (g)

4.3.2 Extrusão das matérias-primas para obtenção dos *snacks*

Ensaio preliminares foram realizados para determinar as condições de processamento. Desses ensaios foram delineados os experimentos e a extrusão termoplástica foi realizada de acordo com a Figura 1, obtendo-se 3 tipos de *snacks* expandidos (arroz e FDS; arroz, FDS e GI em 5, 10, 15 e 20%; e arroz, FDS e TG), conforme formulação da Tabela 1.



FIGURA 1 Fluxograma de obtenção dos *snacks*.

A extrusão das farinhas foi feita em uma extrusora comercial de rosca simples da marca Imbramaq (Ribeirão Preto, SP, Brasil), modelo RX50, com capacidade de produção de 50 kg/h (Figura 2), com matriz circular de 4 furos de 1mm de diâmetro cada (Figura 3), unidade de condicionamento da amostra de 12% e rotação do parafuso 377,78 rpm. Após a extrusão os *snacks* foram cortados, por meio de um cortador (Figura 3) acoplado à extrusora com velocidade máxima. Os *snacks* obtidos foram secos em estufa com circulação de ar da marca Fabbe-Primar (São Paulo/SP, Brasil) por 24 horas e armazenados em embalagens de polietileno até serem analisados.



FIGURA 2 Extrusora Imbramaq RX50.



FIGURA 3 Parafuso e camisa; Matriz de quatro furos; e cortador.

4.4 Métodos analíticos

4.4.1 Caracterização granulométrica das matérias-primas

As matérias-primas foram caracterizadas quanto à distribuição dos tamanhos de suas partículas, de acordo com o método 965.22 da Association of Official Analytical Chemistry - AOAC (1997). Utilizando-se um conjunto de peneiras (40, 50, 60, 70, 80, 100 e 140 mesh para a FDG e 14, 16, 18, 20, 30, 40 e 50 para o *grits* de arroz), onde 100 g de amostra foram submetidas à vibração, por um período de 10 min, em um agitador de peneiras modelo RX-29-10 do tipo Rotap (W. S. Tyler, Mentor, EUA). Em seguida, foi realizada a pesagem das peneiras com o material retido, para a determinação da porcentagem de cada uma.

4.4.2 Análise física dos extrudados expandidos

4.4.2.1 Índice de Expansão dos Extrudados Expandidos

Os índices de expansão, índice de expansão radial (IER), índice de expansão longitudinal (IEL) e índice de expansão volumétrica (IEV) foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988); a densidade medida seguindo a metodologia descrita por Fan et al. (1996) e calculados de acordo com as equações abaixo:

$$IER = \left[\frac{D}{D_0} \right]^2$$

$$\text{Densidade } (\rho_e) = \frac{4m}{\pi D^2 L}$$

$$IEL = \left[\frac{\rho_d}{\rho_e} \right] \left[\frac{1}{IER} \right] \left[\frac{1 - M_d}{1 - M_e} \right]$$

$$IEV = IER \times IEL$$

Em que:

D_m – Diâmetro máximo (medido junto à saída do material da extrusora- matriz);

D – diâmetro do extrudado quando atingiu a temperatura ambiente;

D_0 – diâmetro da matriz (neste caso a matriz é radial);

m – massa/peso do extrudado;

L – comprimento to extrudado;

ρ_d – densidade da massa fundida, antes da matriz ou dentro da extrusora, considerada 1400 kg/m^3 (densidade do amido);

ρ_e – densidade do extrudado;

M_d –umidade da massa dentro da extrusora em base úmida;

M_e –umidade do extrudado em base úmida.

4.4.2.2 Densidade aparente

A densidade aparente dos *snacks* extrudados foi obtida por método gravimétrico, fazendo-se a pesagem da amostra, contida em uma proveta de 25 mL, em ambiente com temperatura de 20°C. O preenchimento da proveta, com a amostra, foi realizado, lentamente, para evitar a compactação da mesma, com auxílio de um funil. A análise foi feita em triplicata para cada tratamento.

4.4.2.3 Densidade absoluta, total de poros e o volume total de poros

Considerou-se que o volume absoluto do sólido é igual ao volume total excluído do volume de poros abertos e fechados. Assim, a densidade absoluta, total de poros e volume total dos poros dos *snacks*, em forma de farinha, foram determinadas mediante o uso do picnômetro de gás automático (*AccuPyc II 1340 Automatic Gas Pycnometer, Micromeritics, EUA*) do laboratório de reologia da Embrapa Agroindústria de Alimentos, localizada no Rio de Janeiro/RJ, de acordo com Webb (2001).

4.4.2.4 Análise colorimétrica

A cor dos extrudados foi avaliada em colorímetro Minolta Chroma Meter cr 200b. Os resultados foram expressos em valores L^* , a^* e b^* , cujos valores de L^* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100). Os valores do croma a^* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores do croma b^* variam do azul (-60) ao amarelo (+60), conforme Francis & Clydesdale (1975).

4.4.2.5 Análise de textura instrumental

A análise de textura foi feita em 10 repetições, baseada na metodologia de Bouvier et al. (1997) que avalia o grau de crocância dos *snacks* expandidos. Utilizou-se um texturômetro da marca Texture Analyser TA. XTPlus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra), acoplado a um computador. Optou-se pelo teste de compressão, por meio de um cilindro de aço inoxidável, com 2 mm de diâmetro e 36 mm de comprimento, na velocidade de 2mm/s e taxa de deformação fixada em 50% do seu diâmetro médio medido ao se determinar o índice de expansão radial. Os dados obtidos foram analisados pelo programa de textura Tex32, obtendo-se a força (N) do pico e a área, considerando-se a força e

a distância (mm) em que a força do pico representa a resistência inicial da penetração geométrica e a dureza do extrudado; e a área inferior à curva é a energia requerida para o deslocamento dado. Foram utilizadas as equações abaixo:

$$\text{Frequência de rupturas (Nsr)} = \frac{N_0}{d}$$

$$\text{Força específica das rupturas (Fsr)} = \sum \frac{\Delta F}{N_0}$$

$$\text{Força de compressão (F)} = \frac{A}{d}$$

$$\text{Trabalho (Wc)} = \frac{F}{N_{sr}}$$

Em que:

N_0 é o número total de picos

d é a distância que o produto foi comprimido (mm)

ΔF é a força de queda aplicada gerada por cada pico (N)

A é a área sob a curva da força que provocou a deformação (mm²)

A dureza correspondeu à altura do pico máximo do primeiro ciclo de compressão (Bourne, 1978).

4.4.3 Caracterização funcional e física dos produtos extrudados

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

A determinação do ISA e IAA foi realizada, conforme os princípios básicos do método descrito por Anderson et al. (1969), com modificações. As análises foram realizadas em quadruplicatas para ensaio a fim de verificar a absorção e a solubilidade em água do produto extrudado.

O IAA indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido de uma determinada amostra, submetida a um tratamento térmico, ou seja, o quanto de gel é formado por grama de base seca. O ISA indica a severidade do tratamento térmico e a consequente desramificação da estrutura amilácea (Lustosa et al., 2009).

A equação para o cálculo do Índice de solubilidade em água (ISA) é:

$$IAA = \frac{\text{Peso.do.precipitado.retido.no.fundo.do.tubo.da.centrifuga}}{\text{peso.secooriginal.da.amostra}}$$

O cálculo para índice de absorção em água é realizado de acordo com a equação adaptada por Hashimoto & Grossmann (2003), como segue:

$$ISA = \left(\frac{\text{Peso.do.desidratado.presente.no.sobrenadante}}{\text{peso.original.da.amostra}} \right) * 100$$

4.5 Análise estatística

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial duplo, com um tratamento adicional $2 \times 4 + 1$, sendo 2= duas formas de utilização de gergelim (integral e torta); quatro proporções de gergelim (5%, 10%, 15% e 20%) e uma testemunha (0% de gergelim); fixando-se a quantidade de arroz e farinha desengordurada de (FDS) (50% de proteína do FDS : 50% de proteína do arroz), conforme a proposta de Hulse et al. (1977), citados por Brody (1994), obtendo, assim, nove tratamentos com a realização de três repetições cada. Foi feita a análise de variância (Tabela 2), adaptando-se 5% como nível de significância.

TABELA 2 Esquema de análise em fatorial duplo com tratamento adicional destacando as fontes de variação e os graus de liberdade

Fontes de Variação	Grau de liberdade
Modo (M)	1
Proporção (P)	3
M*P	3
Adic vs fatorial	1
Resíduo	18
Total	26

Quando significativo, foi analisado o contraste entre a média do tratamento adicional (testemunha) e a média do fatorial. De forma análoga, a interação do esquema fatorial foi desdobrada quando necessário. Foi adotado o teste de Tukey, a 5% de significância, para agrupar as médias das formas de adição de gergelim, e regressão para as proporções de adição de gergelim, por meio do programa SISVAR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das matérias-primas

5.1.1 Análise granulométrica

Os resultados obtidos nas análises granulométricas do arroz (*grits*) e do gergelim integral (GI) estão demonstrados na Tabela 3 e da Farinha de torta de gergelim (TG) e farinha de soja desengordura (FDS) na Tabela 4.

TABELA 3 Distribuição granulométrica do *grits* de arroz e gergelim integral

Peneira (Mesh)	Abertura (mm)	Retenção (%)	
		Grits de arroz	Gergelim integral
14	1,400	22,84	94,41
16	1,180	23,81	5,17
18	1,000	25,12	0,42
20	0,800	6,66	0,00
30	0,600	9,92	0,00
40	0,425	4,99	0,00
50	0,300	1,85	0,00
Fundo	-	4,81	0,00
Total	-	100	100

A utilização de sequências diferentes de peneiras, nos testes granulométricos, ocorreu em função da grande diferença de granulometria entre as matérias-primas. A análise de granulometria, realizada no *grits* de arroz, apresentou concentração de 71,77% nas peneiras com abertura entre 1,0 a 1,4 mm. Já o gergelim integral mostrou-se mais homogêneo, apresentando uma concentração de 94,41% de partículas com tamanho superior a 1,4mm, mostrando-se mais grossa que o arroz.

TABELA 4 Distribuição granulométrica da farinha de torta de gergelim (FTG) e farinha desengordurada de soja (FDS)

Mesh	Abertura (mm)	Retenção (%)	
		FTG	FDS
30	0,600	58,57	3,55
40	0,425	13,74	4,49
50	0,300	7,98	5,37
60	0,250	4,07	4,65
70	0,212	3,94	5,95
80	0,180	10,60	6,72
100	0,150	0,86	4,26
Fundo	-	0,24	65,00
Total	-	100	100

A farinha de TG apresentou granulometria, predominantemente, entre 0,425mm e 0,600mm, correspondendo a 72,31% das partículas. A farinha desengordurada de soja (FDS) apresentou partículas menores em que 65% das partículas apresentaram tamanho inferior a 0,150 mm, conforme mostra a Tabela 4.

Booth (1990) e Riaz (2002) afirmam que o tamanho das partículas das matérias-primas influencia na textura dos produtos extrudados e, quanto maior o tamanho, menor a maciez do produto final. Essa influencia é observada, principalmente, quando se trabalha com extrusora de rosca única, pois, o tamanho das partículas pode influenciar, significativamente, na expansão, porque partículas pequenas são rapidamente fundidas e a massa resultante de viscosidade baixa não é transportada apropriadamente.

Segundo Riaz (2002), partículas muito finas, quando submetidas a um aumento de umidade, como o que ocorre no processo de condicionamento, podem se aglomerar, formando grumos. As partículas de diâmetro maior são mais difíceis de serem condicionadas, por isso, é necessário adicionar, primeiramente, a água nas matérias-primas de maior granulometria (*grits* de arroz e gergelim integral), homogeneizar e depois acrescentar as outras farinhas

para não ocorrer formação de grumos ou pedras. Em seguida, deixar descansar sob refrigeração por 24 horas, para melhor distribuição e absorção da água, conforme foi feito no respectivo trabalho.

5.2 Parâmetros físicos dos extrudados expandidos de arroz, soja e gergelim

5.2.1 Índice de Expansão (IE)

O índice de expansão radial (IER) médio do extrudado expandido de arroz e soja foi de 55,53%, enquanto o adicionado de gergelim integral (GI) reduziu de 38% para 8,5%; o adicionado de torta de gergelim (TG) reduziu de 45,08% para 12,95%, respectivamente, de 5% a 20% da adição. Desta forma, os produtos contendo arroz e soja e arroz, soja e TG obtiveram um maior grau de gelatinização e de fusão do amido no interior da extrusora que aumentou as características elásticas da massa, ocorrendo maior expansão do produto.

A análise de variância mostrou efeito significativo ($p < 5\%$) para a fonte de variação tratamento adicional (*snacks* de arroz + soja), forma de adição de gergelim (grão ou torta) e suas doses (5%, 10%, 15% e 20%). A interação não foi significativa, conforme o Anexo (Tabela 1A). Pode-se afirmar que o extrudado expandido não variou igualmente para as fontes de variações, forma de gergelim e doses adicionadas. Os *snacks* adicionados de torta de gergelim apresentaram maior média para o índice de expansão (29,23%) do que o produto adicionado de gergelim integral (22,94%). Sua adição foi mais significativa, ou seja, os extrudados expandiram mais empregando-se a torta do que o gergelim integral. O melhor modelo estimado para o IER foi o modelo linear (reta), com coeficiente de determinação igual a 99,81%, conforme Figura 4.

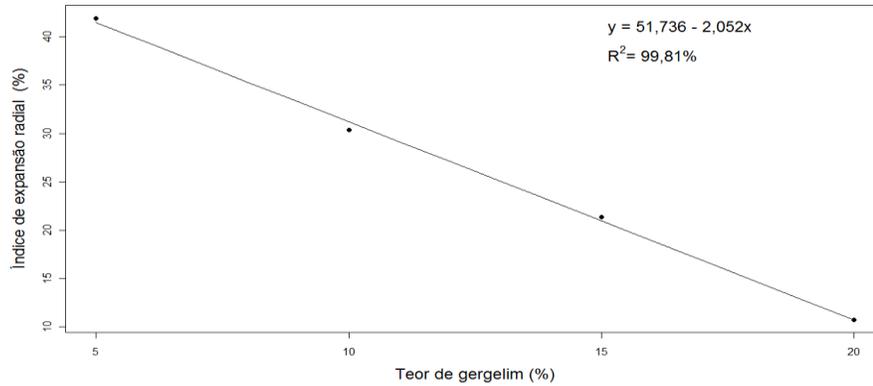


FIGURA 4 Variação do índice de expansão radial (IER) conforme a adição de torta de gergelim na formulação do *snack* a base de arroz e soja.

O índice de expansão volumétrico (IEV) obteve resultado significativo para a fonte de variação dose, ou seja, esta variável apresentou uma diminuição à medida que se aumentou a adição de gergelim. O tratamento adicional não foi significativo, isto é, a média do tratamento adicional foi igual à média do fatorial. O melhor modelo estimado foi a reta com $R^2 = 97,53\%$, como pode ser observado na Figura 5.

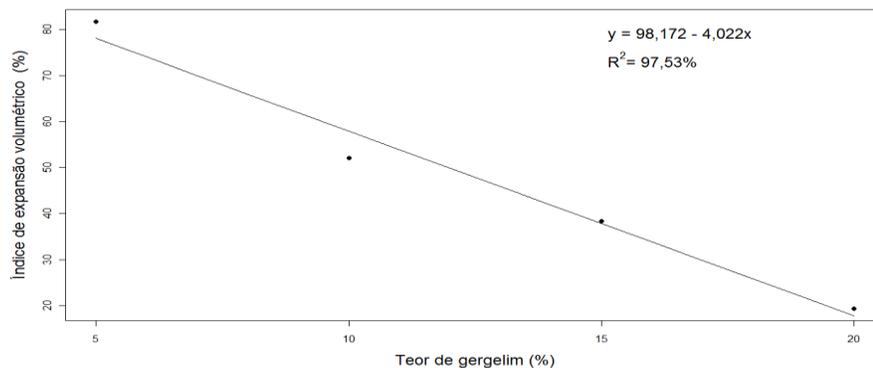


FIGURA 5 Variação do índice de expansão volumétrico conforme a adição de gergelim na formulação do *snacks* a base de arroz e soja.

Quando se compara o IE dos *snacks* expandidos com gergelim integral com os de torta, pode-se observar que os com torta apresentaram maior expansão volumétrica (Figura 6), influenciada pela expansão radial (Figura 4). A expansão longitudinal não apresentou efeito significativo em nenhum dos tratamentos. Pode-se afirmar, portanto que, provavelmente, a velocidade de saída da massa da extrusora foi constante. Dessa forma, o alto teor de lipídio, presente no grão integral, dificultou mais o processo de expansão do que o alto teor de proteína e fibra presente na torta, conforme Figura 6.

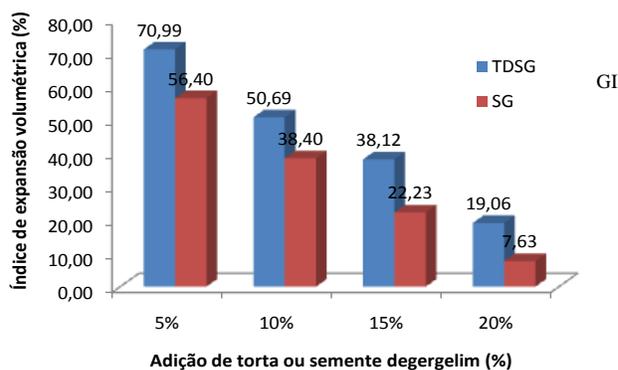


FIGURA 6 Índice de expansão volumétrica (IEV) dos *snacks* expandidos contendo 5, 10, 15 e 20% de torta de gergelim (TG) e gergelim integral (GI).

As matérias-primas com elevado teor de lipídios diminuem o tempo de passagem da massa dentro da extrusora, por atuarem como lubrificantes, que ocasiona a redução da dissipação da energia mecânica específica do sistema que está, intimamente, relacionada à quebra molecular do amido. Desta forma, pode-se considerar que, com o aumento da quantidade de gergelim, ocorreu uma diminuição do IER e, conseqüentemente, do IEV como pode ser observado na Figura 6. Em função do aumento da quantidade de lipídio, presente nas

formulações com maior teor de gergelim, menor quebra molecular do amido foi observada. Em consequência, menor redução no seu peso molecular, que dificultou a expansão, ocasionada pela formação de bolhas provocadas pelo vapor de água no interior da massa fundida. Princípio este semelhante ao relatado por Bhatnagar & Hanna (1994), em que a adição de lipídio implica nas características da matriz do amido, de modo a diminuir sua capacidade de retenção de vapores de água, resultando numa menor expansão.

Outra possível explicação que contribui para a diminuição do IE, segundo Della Valle et al. (1997), seria a diminuição da proporção de material amiláceo na mistura, pois, a temperatura de transição *in vitro*, para a formação das bolhas de ar, diminui com a queda do conteúdo de amilose. Bhatnagar & Hanna (1994) constataram que a diminuição da expansão de amidos extrudados, em virtude da complexação com lipídio, poderia ser causada pelo decréscimo na proporção de amilose livre para amilopectina. Em estudos de Chinnaswamy & Hanna (1988) foi concluído que existe uma proporção ótima de amilose e amilopectina, para uma expansão máxima de amidos extrudados, que indica a contribuição de ambas para a expansão.

Pode-se afirmar o mesmo, para os *snacks* com torta de gergelim (Figura 6), pois o aumento da quantidade de torta ocasionou uma diminuição do IER, possivelmente, provocado pelo aumento do teor de proteína, que dificultou a fusão do material dentro da extrusora e aumentou a resistência à deformação provocada pela pressão de vapor. Foi verificado baixo volume e, conseqüentemente, alta densidade do produto extrudado obtido.

Esse resultado concorda com observado por Gujska & Khan (1991), ao constatarem que o conteúdo de proteína foi, negativamente, correlacionado com a expansão, podendo o efeito de a proteína ser dependente tanto do tipo como do seu conteúdo; e por Singh et al. (2006) que notaram uma diminuição na expansão do produto extrudado de arroz, quando adicionado de ervilha, que foi

atribuído aos altos teores de proteína e fibra, bem como reduzido conteúdo de amido no material.

Desta forma, acredita-se que o IE dos produtos extrudados dependa da composição química das matérias-primas utilizadas, pois, a diminuição do IE observado, no presente trabalho, pode ser explicada pela redução do conteúdo de amido e pelo aumento do teor de proteína, para *snacks* contendo torta de gergelim; e de lipídio, para *snacks*, contendo gergelim integral, por causa da sua complexação com o amido ou por ocasionar um colapso com a parede celular, durante a formação de bolhas, ao reduzir sua capacidade de reter ar no interior e, assim, a expansão radial (Lue et al., 1991).

Os valores do IE, tanto para os produtos contendo gergelim integral como para os contendo tortas de gergelim estão de acordo com os analisados por Hashimoto & Grossmann (2003). Esses autores observaram uma redução na expansão radial de fécula de mandioca extrudados, quando o nível de farelo de mandioca foi aumentado na mistura. Duarte; Carvalho & Ascheri (2009), também, constataram que o índice de expansão radial (IER) foi, significativamente, afetado pelo efeito linear negativo da temperatura e do teor de casca de soja. Resultado semelhante foi encontrado por Ascheri et al. (2006), ao estudarem a adição de inulina em extrudados de arroz. Verificaram que, com o aumento do teor da mesma, os valores de expansão diminuíram, verificando-se alto teor de expansão, com dose de 10% de inulina (5,20), valores inferiores aos encontrados neste estudo.

Carvalho et al. (2010), ao estudarem o efeito do tamanho das partículas de extrudados expandidos de milho, obtiveram valores menores para o IER do que o encontrado neste trabalho, entre 7,5% e 10,8%. Observaram que, quanto maior o valor IER menores eram os valores do IEL, uma vez que esses são inversamente proporcionais, resultando, também, na redução dos valores do IEV, já que esse é um produto do IEL.

5.2.2 Densidade aparente

A densidade é uma importante característica física dos produtos extrudados expandidos, sendo inversamente proporcional ao índice de expansão (Singh et al., 2006).

Por meio da análise de variância, observa-se que o tratamento adicional foi significativo ($p < 5\%$), ou seja, a média do tratamento adicional foi diferente da média do fatorial; assim como a interação substrato*dose para a variável densidade aparente (Anexo – Tabela 2A). Com a análise do desdobramento do substrato (GI e TG), dentro de cada dose (5, 10, 15 e 20%), foi constatado que as doses, contendo GI (15%= 0,31g/cm³ e 20%= 0,57 g/cm³), obtiveram maiores médias que as doses, contendo TG (15%= 0,14g/cm³ e 20%= 0,18 g/cm³) e, conforme o aumento do teor da dose a tendência dessa variável é aumentar. O modelo que consegue explicar melhor a variação total da densidade em torno da média é o modelo parábola, com coeficiente de determinação igual a 99,20%, como pode ser verificado na Figura 7.

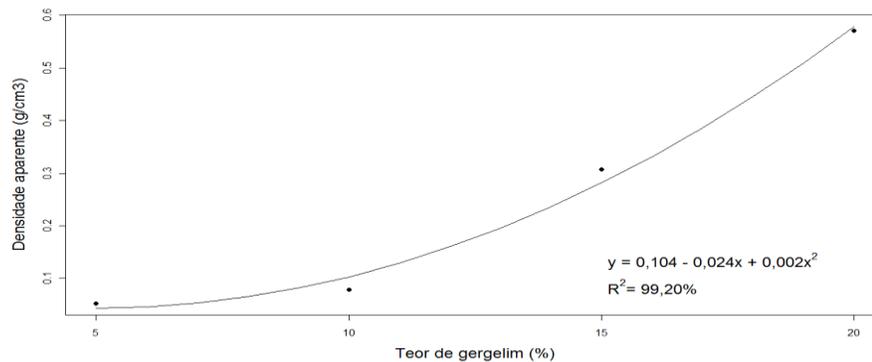


FIGURA 7 Variação da densidade aparente conforme a adição de gergelim (5, 10, 15 e 20%) na formulação do *snacks* a base de arroz e soja.

Os produtos expandidos de arroz e soja apresentaram densidade aparente ($0,04\text{g/cm}^3$) inferior ($p < 5\%$) aos adicionados de GI ($0,05$ a $0,57\text{g/cm}^3$) e os de TG ($0,08$ a $0,18\text{g/cm}^3$). Assim, conclui-se que a adição de gergelim aumentou a densidade dos produtos extrudados de arroz e soja, provocada pela diminuição dos espaços ocupados pelo ar (baixo índice de expansão); e pela possível formação do complexo amilose-lipídeo ou amilose-proteína que contribuiu para o aumento do peso e, conseqüentemente, da densidade.

Os resultados estão de acordo com os mencionados por Carvalho e Ascheri (2004), quando relatam que, em produtos extrudados expandidos, o ar ocupa, aproximadamente, 85% a 92% do volume total, exceto para amostras extrudadas à baixa temperatura, obtendo-se extrudados com valores de densidade no intervalo de $0,04\text{g/cm}^3$ a $0,38\text{g/cm}^3$.

O mesmo ocorreu com Onwulata et al. (2001) e com Oliveira (2007) em estudos com adição de fibra alimentar em extrudados expandidos de milho. Esses autores observaram que a adição de farelo de trigo e casca de soja, respectivamente, não apresenta efeito significativo na densidade aparente quando comparado com os elaborados apenas com milho. Entre as amostras com fibra, entretanto, houve um aumento na densidade com a elevação da dose adicionada.

Neste estudo não foi possível medir a temperatura de extrusão do material, mas Raphaelides et al. (2009), num estudo sobre o efeito de ácidos graxos em extrudados expandidos de milho, observaram que a densidade depende do tempo de residência, bem como da temperatura de extrusão, pois, produtos extrudados em alta temperatura e a alta velocidade do parafuso apresentam menor densidade, por causa da maior expansão. As amostras, contendo lipídeos, exibiram estabilidade em suas densidades quando se utilizou baixa velocidade do parafuso. Esse fato poderia ser atribuído ao aumento da elasticidade do sistema, porque houve interação entre a amilose e o ácido graxo,

que manteve a estrutura do sistema por suportar as forças de alto cisalhamento, desenvolvidas durante extrusão. Raphaelides et al. (1992) relatam que a adição de ácidos graxos em soluções de amido, até a saturação das hélices de amilose disponíveis, são utilizadas para aumentar ou melhorar a elasticidade e é expressa, sob a forma de medidas de força normal constante, durante experiências com variação de cisalhamento.

5.2.3 Densidade absoluta, total de poros e volume total de poros

A Tabela 5 mostra os valores da densidade aparente, total de poros e volume total de poros para os *snacks* expandidos de arroz e soja e adicionados ou não de grão integral ou torta de gergelim.

TABELA 5 Densidade absoluta (DAb), total de poros (TP) e volume total dos poros (VTP) dos *snacks* expandidos contendo gergelim integral e torta

Variáveis	Arroz + soja	Gergelim integral				Torta de gergelim			
		5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
DAb	1,48	1,46	1,43	1,42	1,42	1,48	1,47	1,47	1,45
TP	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,32	0,32	0,30	0,31
VTP	11,54	15,28	22,52	23,15	28,30	15,03	16,80	18,04	24,15

A densidade absoluta dos extrudados expandidos foi influenciada pelas fontes de variação substrato, dose e tratamento adicional e a interação substrato*dose não teve efeito significativo ($p > 5\%$) (Anexo - Tabela 3A). Com base no teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, para o fator substrato, os *snacks* com torta de gergelim ($1,47 \text{ g/cm}^3$) apresentaram maior média quando comparados com os *snacks* adicionados de gergelim integral ($1,43 \text{ g/cm}^3$). Observa-se que a regressão explicou 94,16% da variação total da densidade

absoluta em torno da média, apresentando o modelo linear como o melhor modelo estimado. Na Figura 8 nota-se que a densidade absoluta diminuiu conforme o aumento das doses de gergelim.

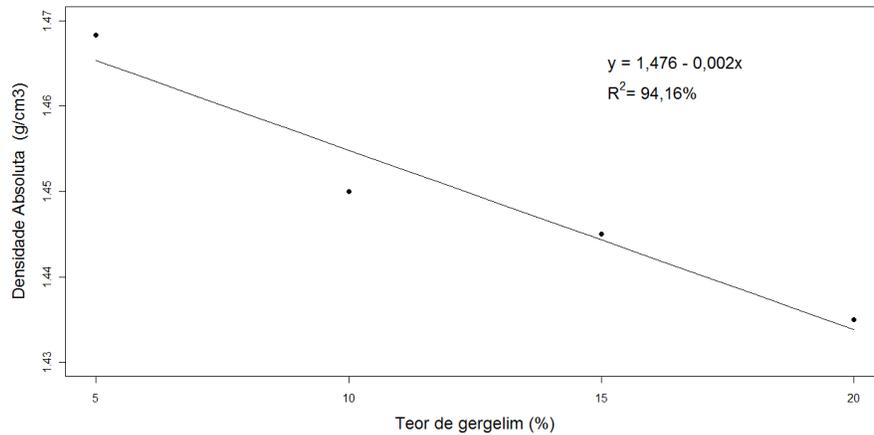


FIGURA 8 Variação da densidade em relação à adição de gergelim

Quando um material sólido está em grânulos ou pó, o volume contém outro tipo de espaço vazio, denominado de espaço interparticular. O volume total de espaços vazios entre partículas depende do tamanho e da forma individual das partículas.

O volume total de poros variou com o tipo de substrato adicionado e com a dose, porém, a interação entre a dose*substrato não foi significativa ($p > 5\%$), conforme Anexo A4. Pelo teste de Tukey, empregado para comparação das médias, ficou evidenciado que os extrudados, contendo gergelim integral ($22,31\text{cm}^3$), apresentaram maiores médias do que os contendo torta de gergelim ($18,50\text{cm}^3$). A análise de regressão explicou 94% do total da variação dos resultados, obtidos para essa variável, apresentando a reta, como o melhor modelo estimado, conforme a Figura 9.

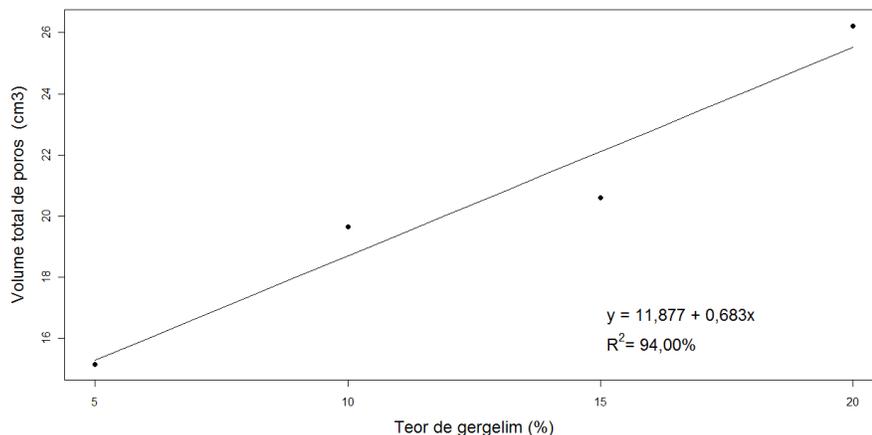


FIGURA 9 Variação do volume total de poros nos *snacks* em relação à adição de gergelim

Em relação ao total de poros, o tratamento adicional foi significativo, indicando que os extrudados de arroz e soja obtiveram um resultado mais desejável para este tipo de produto do que os extrudados adicionados de GI e TG.

Observou-se que a densidade absoluta e o volume total de poros (VTP) variaram, significativamente, em função do acréscimo e do aumento da quantidade de gergelim, tanto grão integral como torta, diferente do total de poros (TP). Os *snacks* de arroz e soja e os acrescentados de 5% de gergelim integral e 5% de torta de gergelim obtiveram maiores médias para densidade absoluta e número total de poros e menores médias para o volume total de poros, como pode ser observado na Tabela 5.

A densidade absoluta dos *snacks* expandidos foi decrescendo com a adição e o aumento da quantidade de gergelim, tanto grão integral como torta, assim como o total de poros. Porém, o volume total dos poros foi crescendo com a adição de gergelim, como pode ser verificado na Tabela 5. Segundo Chang et

al. (1999) e Köksel et al. (2004), esta variação da densidade está associada à quebra molecular do amido, pois, quanto menor a degradação, maior é a redução da sua massa molar, contribuindo para aumentar a compactação da matriz polimérica, que irá favorecer a maior ocupação de massa por unidade de volume e vice-versa.

Diferente da densidade aparente, a densidade absoluta foi medida na farinha, obtida pela trituração dos *snacks*, que pode ter resultado em valores diferentes de densidades.

5.2.4 Cor

A cor é uma qualidade visual (atributo) importante dos produtos alimentícios. Existem muitas reações, que ocorrem durante a extrusão e 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), são reconhecidas por favorecer a reação entre açúcares redutores e aminoácidos, que resulta na formação de compostos coloridos e na redução do aminoácido lisina. Se o escurecimento é muito intenso, cores e sabores indesejáveis podem aparecer. Além disso, as mudanças de cor, durante o processo de extrusão, podem ser consideradas indicadores de avaliação da intensidade do processo em relação às mudanças químicas e nutricionais ocorridas nos produtos (Ilo & Berghofer, 1999).

Os valores relativos à luminosidade (L^*), ao croma a^* e ao croma b^* dos *snacks*, contendo grão integral e torta de gergelim, estão descritos na Tabela 6.

TABELA 6 Coloração dos *snacks* conforme a adição de gergelim

Variáveis	Arroz + soja	Gergelim integral				Torta de gergelim			
		5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
L	86,78	90,20	87,63	86,27	82,09	87,60	86,91	85,83	85,05
a	2,45	0,76	0,90	1,06	1,62	1,49	1,59	1,67	1,85
b	15,88	12,46	13,10	13,34	14,36	12,74	13,04	12,87	13,30

A fonte de variação que teve efeito significativo para a resposta luminosidade, de acordo com a análise de variância (ANAVA) dos resultados obtidos, foi a interação entre gergelim e a dose adicionada (Anexo 5A). Considerando-se a análise de variância, fez-se o desdobramento do substrato dentro de cada nível (5, 10, 15 e 20%). Para a dose 5%, o substrato gergelim obteve maior média do que o substrato torta de gergelim, mas a dose 10% e 15% não obtiveram diferença significativa entre as médias. Já para a dose 20%, o substrato TG apresentou maior média que o gergelim.

Em vista dos resultados, obtidos na análise de variância, a reta foi o melhor modelo estimado tanto para os *snacks*, contendo GI (Figura 10), como para os contendo TG (Figura 11), sendo o coeficiente de determinação (R^2) igual a 95,74% e 99,33%, respectivamente, resultado considerado como satisfatório (> 90%). Portanto, o modelo proposto se ajusta bem às condições utilizadas no processo, como pode ser visualizado nas Figuras 10 e 11.

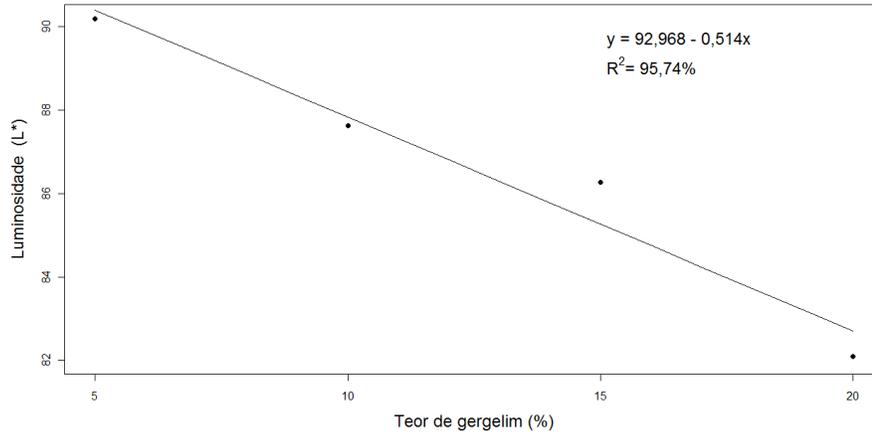


FIGURA 10 Variação do índice de cor L* dos *snacks* conforme a adição de gergelim integral

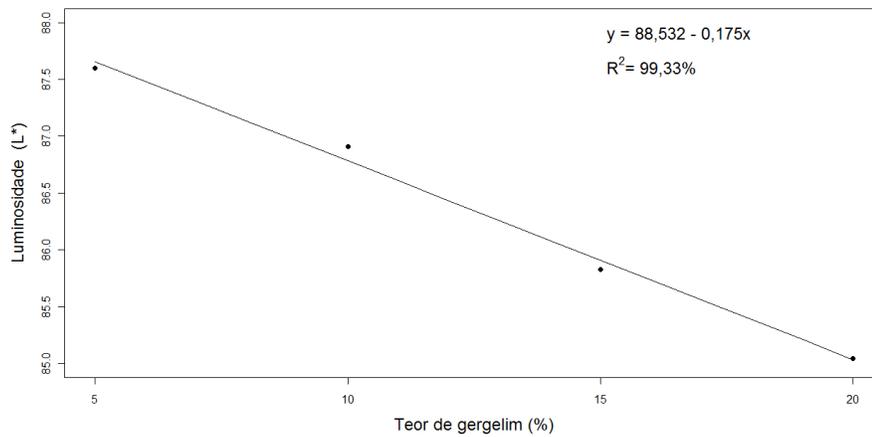


FIGURA 11 Variação do índice de cor L* dos *snacks* conforme a adição de torta de gergelim

Observou-se, claramente, conforme Tabela 6, que altos níveis de grão integral e torta de gergelim diminuíram o valor de L*, produzindo extrudados

mais escuros. O escurecimento dos extrudados pode ser atribuído a uma coloração mais escura, proveniente do gergelim integral e torta de gergelim, quando comparado com o arroz e a FDS. A fração amilácea, presente nos snacks contendo TG, sofreram degradação mais intensa do que os contendo GI, pois, apresentaram-se mais escuros, provavelmente, porque a desnaturação da proteína favoreceu a reação de escurecimento não-enzimático e o efeito causado pela intensa coloração da TG em relação à GI.

Este estudo está de acordo com Ilo et al. (1999) que, ao extrusar farinha de amaranto com farinha de arroz, observaram que a mudança na cor dos expandidos foi totalmente dependente do conteúdo de amaranto nas misturas e da temperatura de processo. Leoro (2007), também, constatou que os aumentos dos níveis de farelo de maracujá em extrudados de milho diminuíram o valor de L^* .

O croma a^* , que varia do verde (-60) ao vermelho (+60), apresentou variação significativa para o substrato gergelim, assim como para o tratamento adicional, ou seja, a média do tratamento adicional foi diferente da média do fatorial, em que, no fatorial, o substrato TG obteve maior média (1,65) que o substrato GI (1,08). Observou-se que o aumento do teor de GI resultou em snacks levemente avermelhados, apresentando uma leve tendência para o verde, contudo, os com TG apresentaram-se mais vermelhos.

Para o parâmetro de cor b^* , que representa tonalidades do azul ao amarelo, somente o snack de arroz e soja foi significativo (15,88), apresentando os demais uma pequena variação entre os tratamentos para o componente cromaticidade.

A mudança na cor dos alimentos, após processamento térmico, pode ser usado para prever a extensão da deterioração da qualidade de alimentos resultante da exposição ao calor. Dessa forma, os snacks contendo arroz e soja apresentaram-se claros, avermelhados e bem amarelados. Entretanto, os com

torta de gergelim apresentaram-se mais escuros, avermelhados e amarelados; e os com gergelim integral apresentaram-se mais claros, levemente avermelhados e amarelados, como podem ser vistos nas Figuras 16 e 17. Esse fator está de acordo com o trabalho realizado por Chen et al. (1991), ao constatarem diminuição da intensidade da cor dos extrudados com o aumento da expansão influenciado pelo aumento da temperatura. Concluíram que o aumento no grau de decomposição dos pigmentos e diminuição da viscosidade do material resultaria em extrudados com cor mais clara.

5.2.5 Textura

A textura de produtos extrudados relaciona-se diretamente à sua expansão, visto que produtos com grande expansão, geralmente, apresentam menor dureza, em razão de a estrutura interna apresentar células maiores com paredes mais finas (Mercier et al., 1998).

De acordo com análise de variância, a força específica das rupturas (F_{sr}) foi influenciada pela variação do substrato (GI e/ou TG) e da dose (quantidades adicionadas a cada sistema). Os *snacks*, contendo GI, obtiveram maiores médias (4,93) que os *snacks* contendo TG (3,26). Com a regressão, para a fonte de variação dose, constatou-se que o melhor modelo estimado, para representar o comportamento desta variável, foi o modelo reta com coeficiente de determinação de 95,78% (Figura 12). Por meio dos resultados, observou-se que, com o aumento das quantidades de GI e TG, mais força era necessária para comprimir ou quebrar a estrutura dos extrudados.

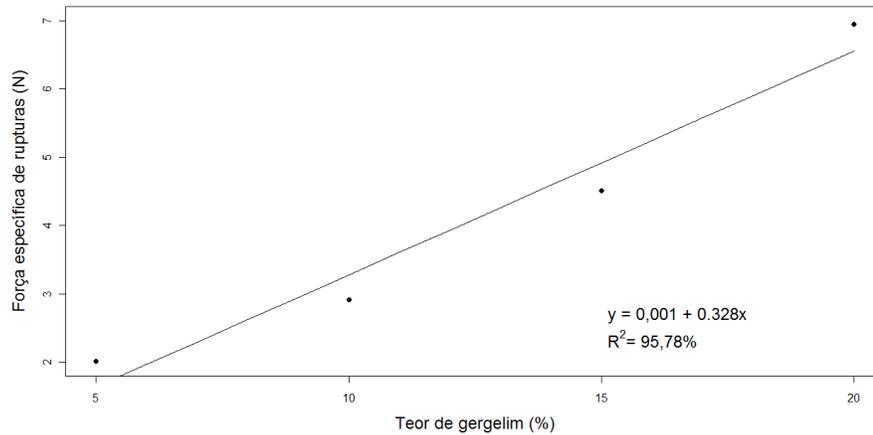


FIGURA 12 Variação da força específica das rupturas (F_{sr}) dos *snacks* de acordo com a adição de gergelim integral.

Esse resultado é inverso para a frequência de ruptura (N_{sr}), pois, quanto maior o teor de GI e TG adicionados menor é o número de picos na curva de força-deformação até a ruptura efetiva do extrudado. Fato este comparado pela análise de variância, cuja interação substrato*dose e o contraste com o tratamento adicional foram significativos. Por intermédio da análise do desdobramento de substrato, dentro de cada nível de dose, empregando-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, foram obtidas as maiores médias, representadas pelo substrato TG (0,09N) que o substrato GI (0,04N). Pela análise de regressão, para o desdobramento dos *snacks*, contendo TG dentro das doses estudadas, foi apresentado um coeficiente de determinação igual a 87% e o modelo que o melhor representou foi a parábola (Figura 13); já para os *snacks* contendo GI o melhor modelo estimado foi o linear, com coeficiente de determinação igual a 99,90% representado pela Figura 14.

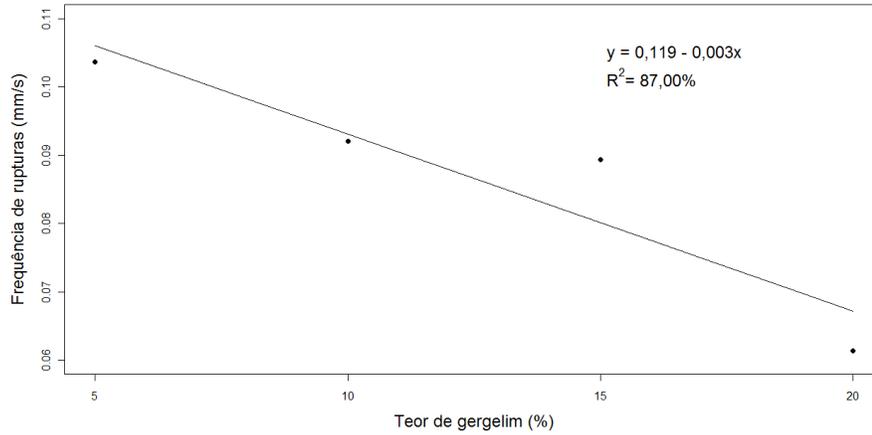


FIGURA 13 variação da frequência de rupturas dos snacks de acordo com a adição de torta de gergelim.

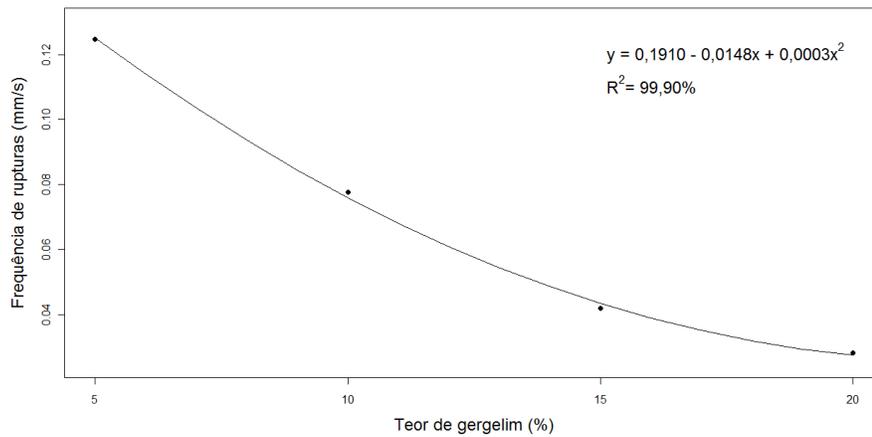


FIGURA 14 variação da frequência de rupturas dos *snacks* de acordo com a adição de gergelim integral.

Os snacks de arroz e soja e com baixos teores de gergelim apresentaram-se mais crocantes e sua curva força-deformação apresentou maiores números de picos até a ruptura efetiva do alimento.

O índice de crocância é definido como a força de compressão dividida pela frequência de rupturas, ou seja, o índice de crocância é maior quando se obtém uma maior força e uma menor frequência (Bouvier et al., 1997).

Com a análise de variância, para o índice de crocância, foi mostrado que somente a fonte de variação dose foi, estatisticamente, significativa (Anexo 6A), ou seja, a crocância foi influenciada apenas pelo aumento da adição da dose de GI e TG. Em vista dos resultados obtidos, na análise de variância, é possível apresentar o modelo que mostra a possibilidade da crocância ser estimada em função do teor de doses de GI e TG. Observa-se que a equação que explica esta variável é linear, pois, os demais fatores (quadráticos e de interação) não foram significativos, como apresentado na Figura 15. Com a análise de regressão para as doses foi apresentado um ótimo coeficiente de determinação que pode explicar 98,22% a variação total de crocância em torno das médias.

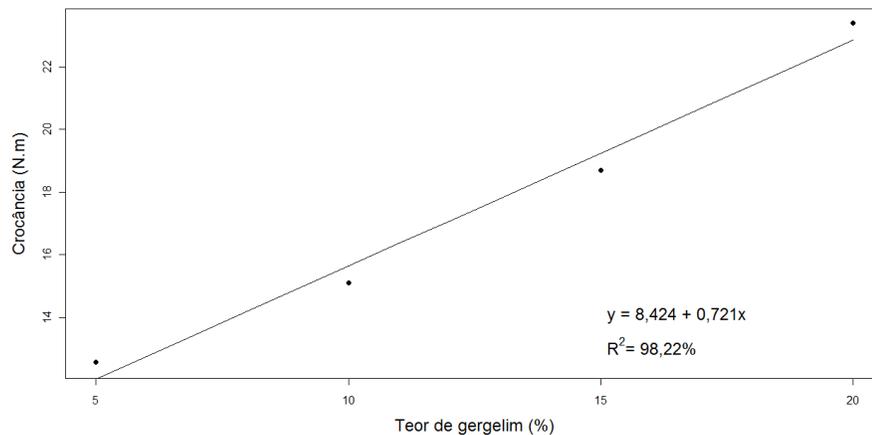


FIGURA 15 Variação da crocância em relação às doses adicionadas de gergelim.

Quando o índice de crocância foi relacionado com o índice de expansão (Figura 4 e 5) e densidade (Figura 8), observou-se um comportamento

divergente nos resultados obtidos neste trabalho, pois, esses são inversamente proporcionais quando analisados em extrudados expandidos secos. Chen et al. (1991), trabalhando com extrudados de milho, relataram que a crocância está intimamente relacionada com a densidade, a qual, por sua vez, correlaciona-se com a expansão, obtendo-se um produto menos denso com maior crocância e mais fácil de ser mastigado.

De acordo com Wollny & Peleg (1994), em materiais com estrutura porosa e quebradiça, como é o caso dos extrudados expandidos, a força oscila muito durante a quebra da parede e a desintegração da estrutura. A forma da célula é ligeiramente alterada sob baixas deformações, mas quando o alimento é submetido a altas deformações, as paredes das células de ar entram em colapso ocasionando fratura. Em determinado nível de deformação, quando os espaços intracelulares são preenchidos pelos fragmentos da amostra, a resistência mecânica da estrutura aumenta drasticamente. Nesse estágio, o material não é, predominantemente, celular e sua deformação assemelha-se a de um sólido incompressível, que pode alterar os resultados de crocância, pois, dureza nem sempre é sinônimo de crocância.

Na Figura 15 pode-se observar que, com o aumento da quantidade de GI e TG adicionados nas formulações dos *snacks* de arroz e soja, o índice de crocância aumenta, visto que quanto maior a quantidade adicionada menor é a expansão e maior é a densidade. Esses resultados estão divergentes, porque, segundo Chen et al. (1991), a crocância está intimamente relacionada com a densidade, a qual, por sua vez, correlaciona-se com a expansão, obtendo-se um produto menos denso com maior crocância e mais fácil de ser mastigado.

Os resultados foram influenciados pelo alto teor de lipídeos, presente na GI (47,08%) e na TG (10,97%). De acordo com Cheftel (1986), a quantidade desse componente influencia de maneira controversa no processo de extrusão, visto que altas taxas de lipídeos prejudicam a expansão, porém, pequenas

quantidades (até 5%) facilitam o processo e melhoram a textura de produtos extrudados. Essa ocorrência se deve pelo fato de o lipídeo atuar, assim como a água, como plastificante para o material amiláceo que é deslocado no interior da extrusora. O aumento de seu teor reduz a viscosidade e a energia mecânica. Segundo Ding et al. (2005), quanto maior for o teor desses componentes, a conversão do amido é reduzida e o crescimento das bolhas é comprometido, resultando em um produto final mais denso e de baixa crocância. Resultado esse observado, principalmente, nos extrudados com níveis elevados de GI.

A Figura 16 mostra o índice de dureza dos expandidos de arroz e soja e arroz, soja e gergelim integral ou torta de gergelim.

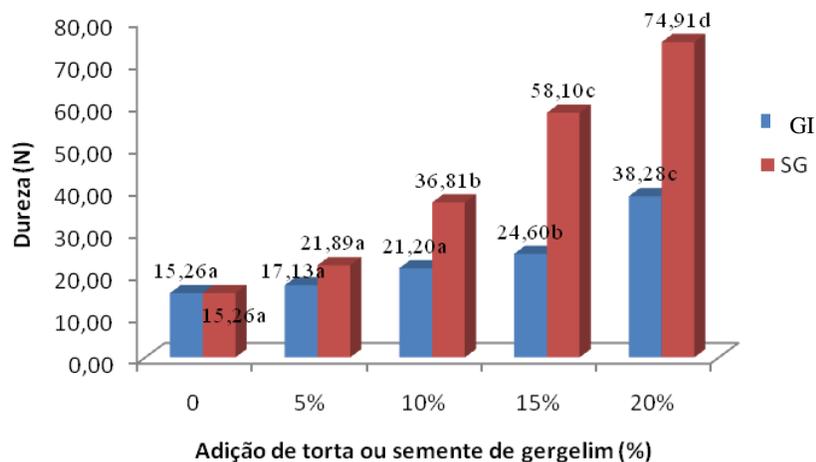


FIGURA 16 Índice de dureza dos *snacks* expandidos de arroz e soja contendo ou não gergelim integral (GI) ou torta de gergelim (TG), sendo as médias seguidas de letra igual, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade que letras iguais.

Nota-se que os *snacks* arroz e soja não se diferenciaram quanto ao índice de dureza dos *snacks* contendo 5% de GI, 5% de TG e 10% de TG. Os *snacks* apresentaram-se mais duros, conforme o aumento da adição de GI e TG. Os

expandidos, contendo GI, apresentaram índices de dureza diferentes em todas as proporções, sendo o mais duro o adicionado de 20% de GI. Já os *snacks*, contendo 5% e 10% de TG, não diferenciaram entre si, mas diferenciaram-se dos contendo proporções de 15 e 20%.

Este trabalho está de acordo com o de Mendonça et al. (1998), os quais relataram que o aumento na força de ruptura, dureza e diminuição da fragilidade são inversamente correlacionados com a expansão e a crocância dos produtos extrudados expandidos.

A redução da expansão e o aumento da dureza são características de produtos com a adição de fibras, resultados de uma queda na elasticidade do material fundido ao deixar a extrusora (Onwulata et al., 2001).

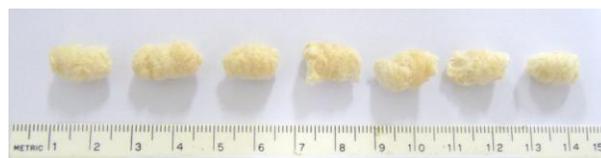
O resultado exposto, também, está de acordo com Mercier et al. (1998) e Riaz (2000), já que esses autores relacionaram a presença de fibra alimentar à redução da expansão de *snacks*, indicando, como consequência, um aumento na dureza. Ainda afirmaram que as fibras, geralmente, reduzem a expansão do produto, em função da ruptura das paredes das células antes que as bolhas de ar expandam até o tamanho máximo, resultando em produtos duros, compactos, não crocantes e com textura indesejável sensorialmente.

Para manter a crocância dos extrudados expandidos, recomenda-se armazenar esses tipos de produtos em embalagens hermeticamente fechadas, pois, a sua alta porosidade implica em elevada difusividade da umidade e, em decorrência, rápido aumento da atividade de água e perda da textura, obtendo-se um produto característico do estado borrachoso.

5.3 Caracterização visual dos extrudados

A Figura 17 apresenta os extrudados expandidos de arroz e soja, contendo gergelim integral, e a Figura 18 os extrudados contendo torta de gergelim. Visualmente, nota-se que as variáveis, consideradas neste trabalho

(gergelim integral e torta de gergelim), exerceram grande influência nas características dos mesmos, no que diz respeito à expansão e a cor. Portanto, é possível a obtenção de produtos com características diferenciadas variando-se a quantidade e o tipo de matéria-prima no processamento. Em linhas gerais, visualmente, os *snacks* com maior teor de gergelim apresentaram-se mais escuros e menos expandidos; enquanto os *snacks* com baixo teor de gergelim proporcionaram uma maior expansão nos produtos e coloração esbranquiçada.



5% de gergelim



10% de gergelim



15% de gergelim



20% de gergelim

FIGURA 17 *Snacks* expandidos de arroz, soja e gergelim integral



5% Torta de gergelim



10% Torta de gergelim



15% Torta de gergelim



20% Torta de gergelim

FIGURA 18 *Snacks* expandidos de arroz, soja e torta de gergelim

5.4 Características tecnológicas funcionais de *snacks* expandidos

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

A Figura 19 compara os valores de ISA dos *snacks*, contendo TG, com os *snacks* contendo GI e esses com o testemunha (*snacks* de arroz e soja ou 0% de gergelim).

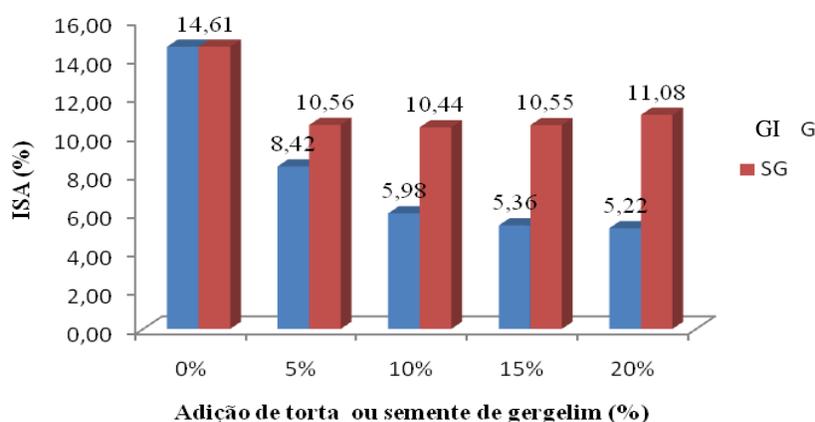


FIGURA 19 Comportamento do índice de solubilidade em água (ISA) dos extrudados contendo gergelim.

Com os resultados obtidos nos diferentes tratamentos para o ISA, ficou evidenciada uma variação de 10,56% a 11,08% de gergelim integral, e de 8,42% a 5,22% para torta de gergelim, nas adições de 5% e 20%. Considerando o valor de ISA, obtido na farinha de arroz crua (1,47%), observou-se aumento da solubilidade com o emprego da extrusão, em que se obtiveram 14,61%, empregando-se arroz e FDS e uma diminuição deste com aumento do teor de grão integral e torta de gergelim nas condições testadas.

Por meio da análise de variância, verificou-se que o efeito do tratamento adicional e a fonte de variação substrato (gergelim integral e torta de gergelim) obtiveram efeito significativo sobre a variável ISA dos produtos obtidos (Anexo

– Tabela 7A). A adição de gergelim, na forma de grão integral ou torta, influenciou a variável assim como o aumento de suas doses. O substrato, contendo gergelim integral, obteve médias maiores em relação ao substrato com torta de gergelim.

Na Figura 19, observa-se que os maiores valores para o ISA foram obtidos pelo *snack* de arroz e soja (14,61), em virtude da formação de compostos de baixa massa molar, provenientes da alta degradação das moléculas de amido durante o processamento (Colonna et al., 1984). Nota-se, também que, com a adição de gergelim, observou-se uma redução desta variável.

Os valores de ISA, para os *snacks* contendo torta de gergelim, diminuíram, conforme o seu aumento. As formulações com maior adição de torta reduziram a quantidade de amido disponível para sofrer os processos de gelatinização e de dextrinização no sistema, uma vez que a TG é destituída de amido. Dessa forma, os valores do ISA, obtidos para os *snacks* contendo 20% de TG, foram menores, em razão de alguns componentes químicos das matérias-primas empregadas, como proteína e fibra, em quantidades não adequadas, obterem efeito inverso, diminuindo a solubilidade dos produtos extrudados, por causa da interação destes com o amido.

Entretanto, os valores de ISA, para os *snacks* contendo gergelim integral, foram crescendo, conforme a elevação do teor de gergelim integral. Este resultado não era esperado, uma vez que o aumento do teor de gergelim integral contribui para redução do processo de rompimento dos grânulos de amido e possível aumento do complexo com amilose, que reduziria os valores de ISA. Colonna et al. (1984) relataram que a alta dispersão das moléculas de amilose e amilopectina, decorrente da gelatinização do amido, ocasionou menor degradação do produto. Uma provável explicação para este resultado poderia ser atribuído à presença de lipídeos nas amostras analisadas os quais alteraram os

resultados da análise de ISA, uma vez que esta análise deveria ter sido feita com o material seco e desengordurado.

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido (Carvalho, 2000).

Os resultados confrontados do IAA dos *snacks* expandidos de arroz e soja com os demais demonstram que o contraste com o tratamento adicional (arroz e soja) não foi significativo, ou seja, a adição de gergelim na forma de grão integral ou torta, assim como o aumento de suas doses não influenciou a variável (Anexo 8A). Portanto, o índice de absorção não é influenciado pela adição ou não GI e TG nos *snacks* contendo arroz e soja. As fontes de variação substrato (gergelim integral e torta de gergelim) e quantidades adicionadas (dose) foram significativas e a TG (5,36 41g de gel/g de matéria seca) apresentou maior média que a GI (6,4741 g de gel/g de matéria seca), e o melhor modelo estimado foi o Modelo linear, conforme a Figura 20.

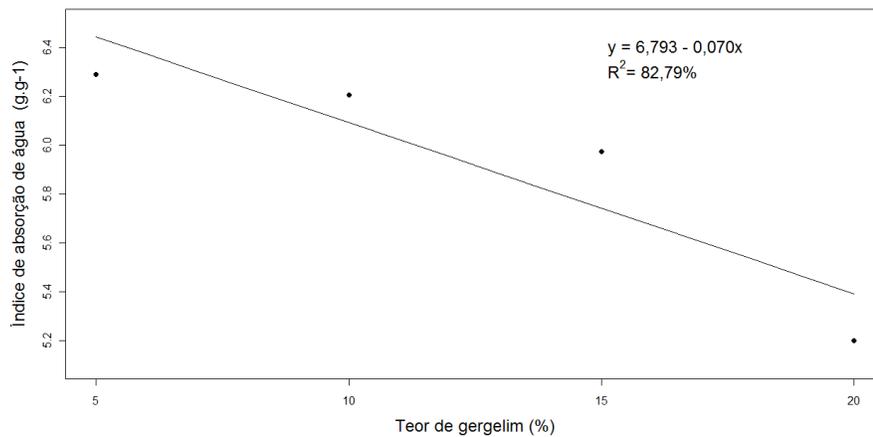


FIGURA 20 Variação do índice de absorção de água em relação ao acréscimo de gergelim nos extrusados expandidos.

O índice de absorção de água dos *snacks* de arroz e soja foi 6,41g de gel/g de matéria seca, valor este superior ao observado por Silva et al. (2009) na farinha de arroz crua (2,36 g de gel/g de matéria seca). Segundo Cardoso (1993), o amido gelatinizado absorve mais água que o amido em seu estado natural, e as proteínas, em razão das mudanças em sua estrutura, como a alteração do balanço hidrofílico-hidrofóbico, dentre outros fatores provocados pela extrusão, podem contribuir para aumentar ou diminuir o IAA. Dessa forma, por meio da análise do IAA pode-se determinar que a severidade do tratamento sobre o amido foi submetido durante o processo de extrusão.

Para os extrudados contendo gergelim, os tratamentos com grão integral apresentaram valores entre 5,97 a 4,27g de gel/g de matéria seca, para 5 e 20%, respectivamente; os expandidos com torta variaram de 6,60 a 6,12g de gel/g de matéria seca. Nota-se que os valores de IAA diminuíram com o aumento das doses tanto de gergelim integral como de torta de gergelim, e os *snacks* contendo TG sofreram maiores degradações no seu conteúdo químico do que os com GI. Resultados estes semelhantes aos encontrados por Ascheri et al. (2006) que observaram a diminuição dos valores de IAA e ISA com o aumento da adição de inulina em *snacks* expandidos de arroz.

De acordo com Gomes & Aguilera (1983), as modificações da absorção de água, que ocorrem no processo de extrusão, não dependem somente de grupos hidrofílicos disponíveis que se ligam as moléculas de água, mas também à capacidade das macromoléculas de formarem gel. Wagner & Anôn (1990) relataram que existe uma hidrofobicidade na superfície de proteínas desnaturadas do isolado proteico de soja que promove a formação de uma matriz capaz de reter quantidade significativa de água em sua estrutura. A proteína totalmente desnaturada, portanto, diminui a sua capacidade de absorção, podendo ser encontrado valores baixos de IAA. Nath & Rao (1981), também, constataram a existência de uma conformação da proteína que permite a sua

interação com a água, porém, ressaltaram que a ligação desses sítios da proteína com outros componentes pode resultar em baixos valores de IAA. Gujsk & Khan (1991), ainda, mencionam que o IAA depende da proteína, da natureza do amido e do tipo de complexo (amido-proteína ou amido-lipídeo) formado durante o processo de extrusão.

Sugere-se que a redução do IAA nos *snacks* de arroz e soja, frente à adição de gergelim e em quantidades crescentes foi, em virtude da formação do complexo amido-lipídeo para *snacks*, contendo GI e do complexo amido-proteína para os *snacks*, contendo TG, formado durante o processo de extrusão. Esse fato impede e/ou diminui a gelatinização do amido em ambos os casos.

Desrumaux et al. (1999) estudaram a influência de adição de ácidos graxos na extrusão de cozimento dos grãos de milho e perceberam que, ao adicionarem ácidos graxos, houve uma diminuição na solubilidade e na absorção de água, que foi atribuída à formação do complexo amilose-ácidos graxos.

Existem controvérsias sobre a relação ISA e IAA. Segundo Hutton & Campbell (1977), a solubilidade e a absorção de água podem ser relacionadas, talvez, até a máxima hidratação, além da qual, a solubilidade tende a aumentar, mas a hidratação não. Já para Cheftel et al. (1989) pode ocorrer o contrário, o IAA aumenta com a diminuição da solubilidade.

A redução dos valores de ISA e IAA, no presente estudo, poderia ser atribuída à diluição da fração amilácea da formulação processada, bem como à redução do efeito da temperatura e cisalhamento sobre esta fração. Em produtos extrudados expandidos aerados, a modificação da estrutura dos grânulos de amido é determinante na expansão e, conseqüentemente, na afinidade por água. A adição de agentes hidrofóbicos na mistura processada reduziria a sua capacidade de absorver água e de solubilizar em água.

6 CONCLUSÃO

Foi possível obter *snacks* expandidos de arroz e soja, com níveis de até 15% de gergelim integral e 20% de torta de gergelim, com características físicas e tecnológicas adequadas.

Foi possível o aproveitamento de torta de gergelim para a obtenção de *snacks* expandidos com níveis proteicos adequados de arroz e soja.

As características físicas dos produtos extrudados expandidos de arroz e soja foram dependentes da adição de gergelim integral e torta de gergelim e dos níveis de doses (5, 10, 15 e 20%). Os *snacks*, contendo torta, obtiveram melhores respostas para os parâmetros físicos analisados que os contendo grão integral. Produtos sem ou com menores doses de gergelim apresentaram resultados mais desejáveis em termos de textura.

Os produtos, contendo gergelim integral, apresentaram menor expansão, maior densidade, menor volume de poros, mais claros, levemente avermelhados e amarelados. Os *snacks* com torta de gergelim proporcionaram uma maior expansão nos produtos, menor densidade, maior volume de poros; em ralação à cor apresentaram-se mais escuros, avermelhados e amarelados

Quanto à textura instrumental, os expandidos adicionados de gergelim integral apresentaram-se mais duros e menos crocantes do que os expandidos contendo torta de gergelim.

O elevado teor de lipídeo, presente no gergelim integral, foi prejudicial ao desenvolvimento de extrudados expandidos, assim como o elevado teor residual de óleo ainda presente na torta. Assim, sugere-se uma otimização do processamento de extração de óleo do gergelim integral, para uma melhor utilização do resíduo pelo processo de extrusão.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOISSA ÓLEOS VEGETAIS. **Gergelim**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.aboissa.com.br/gergelim/index.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 268, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos protéicos de origem vegetal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 nov. 2005. Disponível em: <<http://legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>>. Acesso em: 27 nov. 2009.

ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDURY, K. P.; HARPER, J. M. A general-model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 2, p. 609-615, Mar. 1988.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 4-12, Jan. 1969.

ARAÚJO, J. M. A.; CARLOS, J. C. S.; SEDYAMA, C. S. Isoflavonas em grãos de soja: importância da atividade de β -glicosidase na formação do sabor amargo e adstringente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 137-141, maio 1997.

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, out./dez. 2006.

ASCHERI, J. L. R. Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Processo de extrusão de alimentos**: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos extrusados, para o consumo humano e animal. Rio de Janeiro, 2007. Apostila.

ASCHERI, J. L. R.; COURI, S.; MADEIRA, E. **Características físicas de extrudados de arroz e inulina**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. (Comunicado Técnico, 97).

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16. ed. Washington, 1997. v. 2.

BAKAR, J.; HIN, Y. S. High-protein rice-soya breakfast cereal. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 8, n. 3/4, p. 163-174, Nov. 1984.

BHATNAGAR, S.; HANNA, M. A. Amylose-lipid complex formation during single-screw extrusion of various corn starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, n. 6, p. 582-587, Nov./Dec. 1994.

BOOTH, R. G. **Snack food**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 401p.

BOURNE, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**, London, v. 7, n. 32, p. 62- 66, 1978.

BOUVIER, J. M. Breakfast cereals. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead, 2001. v. 7, p. 135-160.

BOUVIER, J. M.; BONNEVILLE, R.; GOULLIEUX, A. Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness. **Agro Food Industry Hi-tech**, Milano, v. 8, n. 1, p. 16-19, Jan./Feb. 1997.

BRODY, T. **Nutritional biochemistry**. London: Academic, 1994. 658p.

CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. **Produção de extrusados doces**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2004. (Série Documentos, 56).

CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ONWULATA, C. L.; PORDESIMO, L. O. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: effect of particle size on the extrusion of corn meal. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 98, n. 1, p. 103-109, May 2010.

CARVALHO, R. V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão**: caracterização texturométrica e microestrutural. 2000. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CHANG, Y. K.; SILVA, M. R.; GUTKOSKI, L. C.; SEBIO, L.; SILVA, M. A. A. P. Development of extruded *snacks* using jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) flour and cassava starch blends. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 78, n. 1, p. 59-66, Sept. 1998.

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, London, v. 20, p. 263-283, Jan. 1986.

CHEFTEL, J. C.; CUQ, J. L.; LORIENT, D. **Proteínas alimentarias**. Zaragoza: Acríbia, 1989. 346p.

CHEN, J.; SERAFIN, F. L.; PANDYA, R. N.; DAUN, H. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 1, p. 84-89, Jan. 1991.

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, Mar./Apr. 1988.

COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; MONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch: (I) physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 61, n. 6, p. 538-543, Nov./Dec. 1984.

DELLA VALLE, G.; VERGNES, B.; COLONNA, P.; PÁTRIA, A. Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behaviour in extrusion. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 31, n. 3, p. 277-296, Feb. 1997.

DESRUMAUX, A.; BOUVIER, J. M.; BURRI, J. Effect of free fatty acids addition on corn grits extrusion cooking. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 76, n. 5, p.699-704, Sept./Oct. 1999.

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**, Oxford, v. 66, n. 3, p. 283-289, Feb. 2005.

DUARTE, G.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Effect of soybean hull, screw speed and temperature on expanded maize extrudates. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 205-212, jul./set. 2009

FAN, J. T., MITCHELL, J. R. BLANSHARD, J. M. V. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: (1) the role of the glass transition in determining product density and shape. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 31, n. 1, p. 55-65, Feb. 1996.

FRANCIS, F. J. CLYDESDALE, F. M. **Food colorimetry: theory and applications**. Westport: AVI, 1975. 477p.

GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 2, p. 378-381, Mar. 1983.

GUJSKA, E.; KHAN, K. Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 2, p. 431-435, Mar. 1991.

HASHIMOTO, J. M.; GROSSMANN, 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, June 2003.

HECKE, E. V.; ALLAF, K.; BOUVIER, J. M. Texture and structure of crispy-puffed food products: (I) mechanical properties in bending. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 26, n. 1, p. 11-25, Feb. 1995.

HUTTON, C. W.; CAMPBELL, A. M. Functional properties of a soy concentrate and a soy isolate in simple systems; nitrogen solubility index and water absorption. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 42, n. 2, p. 454-456, Mar. 1977.

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, Apr. 1999.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 32, n. 2, p. 79-88, Mar. 1999.

JARQUIN, R.; NORIEGA, P.; BRESSANI, R. Enriquecimiento de harinas de trigo, blanca e integral, con suplementos de origen animal y vegetal **Archivo Latineamericano Nutrition**, Caracas, v. 16, p. 89-103, 1966.

KÖKSEL, H.; RYU, G. H.; BAUSMAN, A.; DAMIRALP, H. Effects of extrusion variables on the properties of waxy hulless barley extrudates. **Nahrung**, Berlin, v. 48, n. 1, p. 19-24, Feb. 2004.

LAUNAY, B.; KONE, T. Twin-screw extrusion-cooking of corn starch: flour properties of starch pastes. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 2, n. 4, p. 259-280, 1983.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 146p. Dissertação (Mestrado em tecnologia de alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

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, n. 3, p. 227-234, May/June 1991.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Effect of extrusion parameters on absorption and water solubility indexes of instant blends of cassava and casein. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, abr./jun. 2009.

MENDONÇA, S. **Utilização do farelo de milho na produção de snacks com fibra**. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

MENDONÇA, S.; KARAM, L. B.; GROSSMANN, M. V. E. Análise instrumental de textura e sua correlação com a avaliação sensorial em “snacks” comerciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 16., 1998. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCTA, 1998, v. 1, p. 84-87.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. 2. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471p.

NATH, J. P.; RAO, M. S. N. Functional properties of guar proteins. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 1, p. 240-245, Jan. 1981.

NATH, J. P.; RAO, M. S. N. Functional properties of guar proteins. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 4, p. 1255-1259, July 1981.

OLIVEIRA, G. D. **Obtenção de produtos extrusados expandidos e não-expandidos de casca de soja e milho.** 2007. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ONWULATA, C. I.; MAULVANEY, S. J.; HSIEH, F. Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie**, Oxford, v. 34, n. 4, p. 424-429, Nov. 2001.

RAPHAELIDES, S. N.; ARSENOUDI, K.; EXARHOPOULOS, Z. M. X.U. Effect of processing history on the functional and structural characteristics of starch–fatty acid extrudates. **Food Research International**, Barking, v. 43, n1, p. 329-341, Jan. 2009.

RIAZ, M. N. **Extruders in food applications.** 2. ed. Boca Raton: CRC, 2002. 225 p.

RIAZ, M. N. Selección del extrusor correcto. In: GUY, R. (Ed.). **Extrusión de los alimentos** . Zaragoza: Acribia, 2001. p. 29-50.

SINGH, B.; SEKHON, K. S.; SINGH, N. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behavior and product characteristics of rice. **Food Chemistry**, London, v. 100, n. 1, p. 198-202, 2007.

SILVA, L. C. **Cultura do gergelim.** Campina Grande: Embrapa/CNPA, 1993. 15p.

WAGNER, J. R.; ANON, M. C. Influence of denaturation, hydrophobicity and sulfhydryl content on solubility and water absorbing capacity of soy protein isolates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 3, p. 765-770, May 1990.

WHALEN, P. J.; BASON, M. L.; BOOTH, R. I.; WALKER, C. E.; WILLIAMS, P. J. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 42, n. 6, p. 469-475, June 1997.

WOLLNY, M.; PELEG, M. A model of moisture-induced plasticization of crunchy *snacks* based on Fermi's distribution function. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, n. 3, p. 467-473, May 1994.

CAPÍTULO 3

**AVALIAÇÃO QUÍMICA DOS *SNACKS* EXPANDIDOS DE ARROZ,
SOJA E GERGELIM**

1 RESUMO

Este trabalho teve por objetivo analisar quimicamente extrudados expandidos de arroz, soja e gergelim. Os *snacks* foram elaborados a partir de grits de arroz (GA), farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG), sendo fixa a quantidade de GA e FDS na proporção de 50%:50% de proteína, para uma melhor complementação dos aminoácidos; e variando a quantidade de GI e TG em 5, 10, 15 e 20%. No processo de extrusão utilizou-se extrusora de rosca simples Inbramaq RX50 com capacidade de 50kg/h, com velocidade de rotação do parafuso 378rpm, matriz de 4 furos (1mm) e umidade do material de 12%. Os extrudados expandidos foram secos em estufa com circulação de ar a 50°C por 24 h e armazenados em embalagens herméticas. Foram analisados quanto a sua composição centesimal e teor de aminoácidos. A adição de GI e TG permitiu um aumento no teor de proteína, extrato etéreo, cinza e fibra, nos *snacks* de arroz e soja, onde podem ser intitulados como produtos de “alto teor de ferro e zinco”. A mistura de arroz, soja e gergelim obteve um efeito complementar com aumento na qualidade protéica dos *snacks* de arroz e soja e diferente dos diversos trabalhos publicados a lisina não apresentou-se como um fator limitante. O *snack* contendo 5% de TG conseguiu suprir as recomendações para todos os aminoácidos essenciais analisados recomendados pela FAO/WHO para crianças de 2 a 5 anos de idade. Dessa forma pode-se constatar que a utilização de misturas com semente e farinha desengordurada de gergelim produz alimentos de elevado teor de fibra e proteína.

Palavras-chave: Extrusão, complementação protéica, gergelim.

2 ABSTRACT

This study aimed to analyze chemically expanded extruded rice, soybean and sesame. The snacks were made from rice grits (GA), defatted soy flour (FDS), integral sesame (GI) and pie (TG) of sesame, and the maximum amount of GA and FDS in the proportion of 50%: 50% protein, to a better complement of amino acids, and varying the amount of GI and TG in 5, 10, 15 and 20%. In the extrusion process was used screw extruder simple Inbramaq RX50 with a capacity of 50kg / h, with speed of screw speed 378rpm, the mother of 4 holes (1 mm) and moisture of the material 12%. The extruded expanded were dried in an oven with air circulation at 50 ° C for 24 h and stored in airtight containers. They were analyzed for their proximate composition and amino acids. The addition of GI and TG allowed an increase in protein, ether extract, ash and fiber, the snacks of rice and soybeans, which can be titled as products of "high iron and zinc. The mixture of rice, soybean and sesame obtained a complementary effect with increase in the protein quality of the snacks of rice and soybeans and other published works of several lysine did not present itself as a limiting factor. The snack containing 5% of TG was able meet the recommendations for all analyzed amino acids recommended by FAO / WHO for children 2 to 5 years of age. Thus it can be realized that the use of mixtures with seed and defatted sesame flour produces food high fiber and protein.

Keywords: Extrusion, complement protein, sesame.

3 INTRODUÇÃO

Estudos vêm demonstrando que a mistura, em proporções adequadas de cereais e leguminosas, apresenta efeito complementar mútuo de aminoácidos e, conforme a proporção empregada na mistura destes alimentos, pode suprir ou complementar a recomendação diária de nutrientes por causa da qualidade proteica e da excelente fonte de minerais (Giambieri, 1987, 1986).

O arroz (*Oriza sativa*) é um alimento básico, responsável por 20% da energia ingerida, proveniente dos alimentos no mundo, enquanto o trigo representa 19% e o milho 5%. Seu conteúdo proteico se constitui de boa fonte de ácido glutâmico e aspártico, tendo a lisina como aminoácido limitante. Apresenta-se rico em carboidratos complexo, do tipo amido e, quando extrudado, aumenta as características funcionais do amido, pois, durante este processo, os grânulos absorvem água, incham e gelatinizam. Este cereal, por ser isento de glúten, é intensamente consumido por portadores de doença celíaca (Cheftel, 1996; FAO, 2004).

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] tem sido amplamente utilizada como fonte de óleo comestível e proteína para alimentação humana e animal. As proteínas de soja, como são comuns às leguminosas, apresentam elevado teor de lisina e teor reduzido dos aminoácidos sulfurados, como a metionina e cistina. Já as proteínas dos cereais, como o arroz, apresentam esta composição de aminoácidos em situação inversa. Portanto, a combinação de leguminosas e cereais permite a complementação dos aminoácidos essenciais com melhor qualidade.

A soja crua contém antinutrientes que limitam sua utilização. Os mais importantes e investigados, os inibidores de proteases e as lectinas ou hemaglutininas, que reduzem a digestibilidade e absorção proteica e de outros

nutrientes presentes nos alimentos, diminuem o ganho de peso e crescimento de animais. Desta forma, faz-se necessário o uso de processamentos térmicos adequados para inativá-los e, assim, aumentar o valor nutricional de soja e seus produtos (Miura et al., 2000).

O gergelim é cultivado em 71 países, especialmente na Ásia e África, a Índia e Myanmar são responsáveis por 49% da produção mundial. O Brasil é um pequeno produtor, com 15 mil toneladas, produzidas em 25 mil hectares e rendimento em torno de 750 kg/ha (FAO, 2006). Além do cultivo tradicional, na maioria dos estados nordestinos, o gergelim é cultivado em São Paulo, Goiás (maior produtor), Mato Grosso e Minas Gerais.

O gergelim é um alimento de alto valor nutricional, contendo elevados teores de lipídeos e proteínas. Os grãos de gergelim fornecem óleo muito rico em ácidos graxos insaturados, oleico e linoleico, além de vários constituintes secundários como sesamol, sesamina, sesamolina e gama tocoferol, que determinam sua elevada qualidade, em especial a estabilidade química, em função de sua resistência à rancificação por oxidação, propriedade atribuída ao sesamol (Embrapa, 2006). A torta, resíduo da extração do óleo, é rica em proteínas e fibras, podendo ser destinada não só na alimentação animal como também na humana, sem quaisquer restrições. Além dos fins alimentares, seus grãos encontram diversas aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e óleo-química (Maia et al., 1999).

A extrusão termoplástica é uma técnica que emprega o uso de alta temperatura em intervalo curto de tempo. Este processo utiliza matérias-primas ricas em amido e, sob a influência das variáveis calor, umidade, pressão e cisalhamento, transformam-nas em massa viscoelástica que emerge do extrusor. A queda súbita de pressão permite a vaporização de água e, conseqüentemente, a expansão da massa amilácea. O produto intumescido tem uma estrutura celular,

principalmente, formada por bolsões de ar, envoltos por paredes de amido gelatinizado, que contribui para sua textura quebradiça (Cheftel, 1986).

O consumo de produtos extrudados expandidos tem aumentado muito nos últimos anos, porque há necessidade de se obter produtos fáceis de serem consumidos, tendo em vista a falta de tempo da vida moderna. Os *snacks* são, geralmente, produtos extrudados de baixo valor nutritivo, rico em carboidratos, porém, quando se empregam matérias-primas de alta qualidade nutricional, apresentam conteúdo considerável de proteína e fibras, podendo, ainda, ser enriquecidos com vitaminas e sais minerais.

Diante do exposto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar quimicamente *snacks* em combinações nutricionalmente adequadas de arroz e soja e com adições gradativas de gergelim nas formas de grão integral e torta.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras-MG e na Embrapa, Agroindústria de Alimentos, localizada na cidade do Rio de Janeiro/RJ.

4.1 Matérias-primas para obtenção dos extrudados expandidos

As matérias-primas, utilizadas na obtenção dos extrudados expandidos foram: arroz polido, adquirido no comércio da cidade do Rio de Janeiro/RJ, o qual foi moído em moinho de discos marca Laboratory Mill 3600 (Perten Instruments, Kungens Kurva, Suécia), para obtenção do *grits*; farinha de soja desengordurada (FDS), doada pela empresa Marsul (Montenegro/RS, Brasil), gergelim integral (GI), fornecido pela Embrapa Algodão e torta de gergelim, obtida por meio da prensagem a frio dos grãos de gergelim, com auxílio de uma extrusora tipo *expeller* CA59G OEKOTEC (IBG Monforts, Alemanha), utilizando uma matriz circular de 5mm e velocidade média, posteriormente, moída em moinho de discos Laboratory Mill 3600 (Perten Instruments, Kungens Kurva, Suécia), obtendo-se a farinha da torta de gergelim semi-desengordurada (TG) e armazenada sob refrigeração até o processamento.

4.2 Processo de extrusão

A extrusão termoplástica foi realizada, considerando-se uma mistura fixa de arroz (*grits*) e farinha desengordurada de soja (FDS), de acordo com Hulse et al. (1977), citados por Brody (1994). Esses autores relataram que uma das combinações de cereais e leguminosas, nutricionalmente adequada, foi a combinação de 50% de proteínas do arroz com 50% de proteínas das leguminosas. Foi adicionada a essa combinação de arroz e soja gergelim integral (GI) ou torta de gergelim (TG), em quantidades de 5, 10, 15 e 20%.

As farinhas foram pesadas e condicionadas a 12% de umidade, baseando-se em testes preliminares. Em seguida, foram homogeneizadas manualmente, por aproximadamente 3 min e armazenadas em embalagens plásticas, fechadas hermeticamente sob refrigeração (8°C), durante 24h, para melhor distribuição e absorção de água. Após este período, as amostras foram submetidas ao processo de extrusão.

A extrusão das farinhas foi feita em uma extrusora comercial de rosca simples da marca Imbramaq (Ribeirão Preto, SP, Brasil), modelo RX50, com capacidade de produção de 50 kg/h, com matriz circular de 4 furos de 1mm de diâmetro cada, umidade de condicionamento da amostra de 12% e rotação do parafuso 377,78 rpm. Após a extrusão, os *snacks* foram cortados, por um cortador acoplado à extrusora com velocidade máxima. Os *snacks* obtidos foram secos em estufa, com circulação de ar da marca Fabbe-Primar (São Paulo/SP, Brasil), por 24h em temperatura de 50°C e armazenados em embalagens de polietileno até serem analisados.

4.3 Composição centesimal

As determinações da composição centesimal das matérias-primas e dos extrudados foram realizadas conforme os métodos da AOAC (1997). A umidade foi feita pelo método gravimétrico nº 920.151 em estufa 105°C até peso constante da amostra; o Resíduo mineral fixo (cinzas) pelo método gravimétrico nº 940.26 por calcinação da amostra em mufla a 550°C; proteínas pelo método Kjeldahl nº 920.87, extrato etéreo por extração em Soxhlet nº 31.4.02 e fibra bruta. O teor de carboidratos foi calculado por diferença, diminuindo de 100 o somatório de proteínas, lipídios, cinzas, umidade e fibra. As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em porcentagem.

4.4 Análise de amido

Foi extraído por hidrólise ácida, segundo a técnica da AOAC (1990) e identificado pelo método de Somogy modificado por Nelson (1944).

4.5 Análise de minerais

A composição de minerais (cálcio, potássio, fósforo, magnésio, zinco e ferro) foi realizada no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da UFLA, obtidos dos extratos das amostras por digestão nitroperclórica e determinado segundo Malavolta et al. (1989). O fósforo foi determinado por colorimetria, segundo método da AOAC (1997); o enxofre por turbodimetria; o potássio e o sódio, por fotometria de chama; e magnésio, zinco e ferro por espectrofotômetro de absorção atômica.

4.6 Aminograma

A composição qualitativa e quantitativa dos aminoácidos foi determinada por análise automática, pelo método de Spackman et al. (1958).

4.7 Escore químico (EQ)

Para a verificação dos aminoácidos limitantes existentes na proteína das matérias-primas, foi realizado o escore químico de aminoácidos, conforme Pellet & Young (1980), tomando como referência o padrão teórico da FAO (1990). Calculou-se o quociente de cada um dos aminoácidos essenciais (mg), contido na proteína (g), teste pelo mesmo aminoácido, contido na proteína de referência, multiplicando-se o resultado por 100, conforme a Equação 12. O valor que atendeu a 100% ou mais demonstra que os aminoácidos não são limitantes em relação ao padrão utilizado como referência.

$$EQ = \frac{\text{aminoácido essencial (mg)/ proteína teste (g)}}{\text{aminoácido essencial (mg)/ proteína referência (g)}} \times 100 \quad (\text{Equação 12})$$

4.8 Análise estatística

Utilizou-se, neste trabalho, o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial duplo e um tratamento adicional $2 \times 4 + 1$, sendo duas formas de utilização de gergelim (integral e torta) e quatro proporções de gergelim (5%, 10%, 15% e 20%) e uma testemunha (0% de gergelim), fixando a quantidade de arroz e farinha de soja desengordurada (FDS) (50% de proteína do arroz: 50% de proteína da FDS), obtendo-se nove tratamentos com a realização de três repetições cada, de acordo com a Tabela 1. Procedeu-se à análise de variância a 5% de probabilidade.

TABELA 1 Esquema de análise em fatorial duplo com tratamento adicional destacando as fontes de variação e os graus de liberdade

Fontes de Variação	Grau de liberdade
Modo (M)	1
Proporção (P)	3
M*P	3
Adic vs fatorial	1
Resíduo	18
Total	26

Quando significativo, foi analisado o contraste entre a média do tratamento adicional (testemunha) e a média do fatorial. De forma análoga, a interação do esquema fatorial foi desdobrada quando necessário. Foi adotado o teste de Tukey, a 5% de significância, para as formas de adição de gergelim e regressão para as proporções de adição de gergelim, por meio do programa SISVAR 5.2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição centesimal das matérias-primas

A Tabela 2 apresenta a composição centesimal do arroz, farinha de soja desengordurada (FDS), gergelim integral (GI) e da torta de gergelim (TG).

TABELA 2 Composição centesimal, em matéria seca, do arroz, farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG) e suas respectivas umidades

Composição	Arroz	FDS	GI	TG
Umidade (%)	12,54	7,32	7,44	9,63
Proteína (%)	7,52	56,64	12,86	50,66
Lipídeo (%)	0,66	0,83	45,87	10,97
Cinzas (%)	1,06	6,32	3,93	8,47
Fibra (%)	0,19	6,21	3,07	5,28
Carboidrato (%)*	90,58	30,00	34,28	24,62

*Calculado por diferença

Conforme a Tabela 2, as matérias-primas em forma de farinhas apresentaram teores de umidade abaixo de 13%. Para Leitão (1990), o melhor teor de umidade em farinhas encontra-se entre 12 e 13%, pois, acima de 14 % começa a apresentar problemas, quanto ao armazenamento e tendência a formar grumos, que não irão fluir uniformemente no início do processo.

Os resultados das análises confirmam que o arroz é fonte de carboidratos, em virtude de sua elevada concentração no grão que representou 81,83%. Teor próximo ao relatado por Bobbio & Bobbio (1992) que é, aproximadamente, de 90%, podendo 63 a 92% ser representado pela amilopectina e 8 a 37% pela amilose. Os teores de lipídeo, proteína, cinza e fibra apresentaram-se baixos. Valores de umidade, proteína e lipídeo foram semelhantes aos relatados por IBGE (1999), Franco (2001) e Núcleo De Estudos e Pesquisas em Alimentação - NEPA (2004) que foram em média de 12 a 13%;

7,2%; e 0,6%, respectivamente. O conteúdo de cinzas obtido foi o dobro do encontrado por esses mesmos autores.

A farinha desengordura de soja (FDS) mostrou-se estar dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução da Diretoria Colegiada, RDC 268 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa, 2001), que estabelece os padrões de qualidade e identidade de produtos proteicos de origem vegetal, em relação à umidade (máximo 9%), lipídio (máximo 2%) e proteína [mínimo 45% (% Nitrogênio x 6,25)]. Entretanto, os valores de fibras e cinzas (Tabela 2) ultrapassaram os teores de classificação da FDS, que é no máximo 4% e 6% em base seca, respectivamente.

O gergelim integral apresentou alto teor de lipídios, representando quase 50% da sua composição, como mostra a Tabela 2. Este teor está de acordo com Beltrão (1995), ao relatar que o óleo representa 44% a 58% do peso do grão de gergelim. Em relação ao elevado teor de carboidrato, Namiki (1995) reporta que não se trata de amido e, sim, de fibra dietética. Suposição esta confirmada por Sourci et al. (1994) citado por Beltrão et al. (1994) que encontraram 11,2g/100g de fibra dietética no grão integral.

A torta de gergelim, subproduto da extração do óleo, extraída por prensagem a frio, pode ser destinada à alimentação humana e animal, em virtude de seu alto teor de proteína, que representou 50,66%. Teor este que pode variar, de acordo com o conteúdo residual de óleo, pois Araújo et al. (2006) encontraram 39,77% de proteína e 12,8% de lipídeo, enquanto Maia et al. (1999) registraram 63,78% de proteína e 3,03% de lipídeo. Os teores de carboidrato e fibra foram maiores aos encontrados por estes autores, 22,8% e 22,28%; e 4,7% e 4,54%, respectivamente.

O alto teor residual de óleo, na torta de gergelim, pode ser explicado pelo método de extração utilizado, visto que a extração, realizada por prensagem dos grãos integrais, apresenta baixo rendimento, de 11% a 18% de óleo residual,

quando comparado com a extração por solvente, segundo Yen e Lay (1989) citado por Firmino (1997).

5.2 Composição centesimal dos *snacks* expandidos de arroz, soja e gergelim

A Tabela 3 apresenta, em base seca, a composição centesimal aproximada dos *snacks* expandidos de arroz e soja; e arroz, soja e gergelim, representado na forma de grão (GI) e torta (TG), nas proporções de 5, 10, 15 e 20%.

TABELA 3 Composição centesimal (% em base seca) dos extrudados expandidos de arroz e soja, arroz, soja e gergelim integral e arroz, soja e torta de gergelim

Variáveis	Arroz + Soja	Gergelim integral				Torta de gergelim			
		5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
Umidade	1,92	2,59	2,72	3,18	3,1	2,64	2,47	2,47	2,17
Proteína*	11,79	14,02	15,27	16,10	16,69	14,16	15,50	16,79	17,70
Lípídeo	0,18	1,27	3,41	5,83	7,86	0,24	0,34	0,73	1,06
Cinzas	0,33	0,41	0,61	0,64	0,74	0,45	0,66	0,88	0,98
Fibra	2,21	2,62	2,69	2,76	2,79	3,31	3,73	3,81	3,91
Carboidrato**	85,48	81,67	78,03	74,67	71,92	81,83	79,77	77,79	76,35

* %N x 6,25

**Calculado por diferença

Verifica-se, na Tabela 3, que a adição de gergelim, tanto na forma de grão como na forma de torta, permitiu um aumento considerável no teor de proteína bruta, extrato etéreo, cinzas e fibra bruta nos *snacks* de arroz e soja. Entretanto, fato inverso aconteceu com o teor de carboidrato, pela matéria-prima gergelim ter pouco amido.

Analisando os resultados, obtidos por meio da análise de variância, não houve diferença significativa em nenhum dos tratamentos, para a variável umidade, demonstrando que o processo de secagem, após a extrusão, foi homogêneo e eficiente para todos os tratamentos.

A análise de variância, para proteína dos extrudados expandidos de gergelim, mostrou que a interação substrato*dose e o contraste com o tratamento adicional foram significativos, conforme Anexo (Tabela 1B). Dessa forma, fez-se o desdobramento do substrato dentro de cada dose (5, 10, 15 e 20%) e por meio do teste de Tukey. As doses 5% (GI=14,02% e TG= 14,16%) e 10% (GI=15,27% e TG= 15,50%) não apresentaram diferença significativa entre as médias. Contudo, as doses 15% (77,79%) e 20% (76,35%) de TG apresentaram maiores médias, quando comparadas com as doses contendo GI (15%= 74,68 e 20%= 71,92). Valor esse esperado uma vez que a torta possui teor de proteína mais elevado do que o grão integral de gergelim.

O teor de proteína não se elevou, gradativamente, com o aumento das doses. Com a análise de variância (ANOVA) determinou-se o melhor modelo e, em que foram descritos os resultados, foi a parábola, tanto para os produtos, contendo gergelim integral como para os contendo torta de gergelim, apresentando coeficiente de determinação igual a 99,94% e 99,92%, respectivamente, conforme Anexo 1C.

Observou-se que a interação substrato*dose foi significativa para o teor de lipídeos dos *snacks* de arroz e soja (tratamento adicional) e dos contendo gergelim conforme a análise de variância (Anexo 2B). O desdobramento das doses de GI e TG mostrou que os *snacks* contendo gergelim integral apresentaram maiores médias para todas as doses analisadas, de acordo com o teste de Tukey, em nível de 5% de significância, como pode ser visto na Tabela 3. O melhor modelo estimado, para o teor de lipídeo dos *snacks*, contendo GI, foi o reta com R^2 igual a 99,90%, de acordo com Anexo (Figura 3C) e, para os *snacks* contendo TG, o melhor modelo estimado, também, foi o modelo reta com R^2 igual a 95,51% (Figura 4C).

Para o teor de lipídeos, obteve-se uma resposta linear com aumento das quantidades (doses) de gergelim, principalmente, nos extrudados adicionados de gergelim integral.

Quanto ao teor de cinzas, o contraste com o tratamento adicional e a interação substrato*dose foram significativos, ou seja, a adição de gergelim e a variação da quantidade ou dose não podem explicar, individualmente, a variação dos teores de cinzas (Tabela 3B). Com o desdobramento do substrato, empregou-se o teste de Tukey, em nível de 5% de significância e observou-se que as doses 5% e 10% não obtiveram diferença significativa nas médias do teor de cinzas, para os extrudados, contendo GI e TG. Entretanto, para os níveis de 15% e 20%, as maiores médias foram obtidas pelos extrudados, contendo TG, como pode ser observado na Tabela 3. Pela análise de regressão, para o desdobramento do substrato GI e TG, obteve-se um coeficiente de determinação igual a 95,54% e 99,34%, respectivamente, destacando a parábola como o melhor modelo estimado para os dois tipos de substratos (Anexo 5C e 6C).

Com a análise de variância, para a variável fibra dos extrudados, contendo gergelim, foi mostrado que as fontes substrato e dose foram significativas, ou melhor, a variação do teor de fibra pode ser explicada pelo tipo de substrato (GI ou TG) ou pelo aumento da quantidade deste (Anexo 4B). Empregando-se o teste de Tukey, observou-se que, para todas as doses, o substrato TG obteve maior média (3,69%) que o substrato GI (2,72%) e o melhor modelo estimado para fonte variação dose foi a reta, com coeficiente de determinação igual a 89,85% (Figura 7C).

Em relação ao teor de carboidrato, nos produtos extrudados de arroz, soja e gergelim, verificou-se que a interação substrato*dose e o contraste com o tratamento adicional foram os únicos significativos. A variável carboidrato é influenciada pela forma e pelo aumento da adição de GI e/ou TG nos produtos extrudados expandidos (Tabela 5B). Pelo teste de Tukey, para o desdobramento

do substrato, mostrou-se que não houve diferença significativa ($p < 5\%$) para a média da dose 5%. Todavia, o substrato TG (5%= 81,83%; 10%= 79,77%; 15%= 77,79% e 20%= 76,35%) obteve maiores médias que o substrato GI (5%= 81,67%; 10%= 78,03%; 15%= 74,68% e 20%= 71,92%) para as doses 10%, 15% e 20%. A análise de desdobramento da dose dentro de cada nível de GI e TG foi feita por meio da análise regressão, obtendo-se alto coeficiente de determinação. O melhor modelo estimado foi o modelo parábola para os extrudados contendo GI, com $R^2 = 99,99\%$; e para os extrudados contendo TG o melhor modelo foi a reta, com $R^2 = 99,27\%$, de acordo com as Figuras 8C e 9C em Anexo.

Pelas análises obtidas, observou-se que a adição de GI de gergelim, nos extrudados expandidos de arroz e soja, contribuiu para o aumento do teor de lipídeos, e a adição de TG para os teores de proteína e fibra bruta. Comparando os extrudados contendo GI e TG, provavelmente, com o emprego da torta, na formulação de extrudados expandidos, obter-se-ia uma melhor contribuição na composição nutricional do que o gergelim integral.

Conforme Tabela 3, os *snacks* de arroz, soja e torta de gergelim podem ser considerados “fonte de fibra alimentar”. O regulamento técnico, referente à informação nutricional complementar, que corresponde à Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998 (ANVISA, 1998) preconiza que o produto pronto para consumo, para ser fonte, deve conter no mínimo 3 g de fibra/100g do produto.

Teores elevados de lipídeos tendem a reduzir a viscosidade da massa extrudada, prejudicando a expansão; em contrapartida, níveis baixos (lipídeos < 5%) facilitam uma extrusão constante e melhoram a textura (Harper, 1981 e Cheftel, 1986). O desengorduramento do amaranto não alterou o conteúdo proteico, mas sua digestibilidade aumentou significativamente, sugerindo um balanço de aminoácidos absorvidos (Garcia et al., 1987).

Colonna & Mercier (1983) relataram que o amido sofre menos degradação na presença de ácidos graxos no processo de extrusão, porque os lipídios atuam como lubrificantes, minimizando o efeito de ruptura do processo de extrusão sobre a estrutura macromolecular do amido, por meio de interações.

5.3 Composição de minerais

As Tabelas 4 mostra os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn) e ferro (Fe) das matérias-primas, utilizadas para a obtenção dos extrudados expandidos; dos *snacks*, contendo gergelim integral e dos *snacks*, contendo torta de gergelim, respectivamente, bem como a ingestão dietética de referência de minerais para adultos jovens.

Os valores de *Recommended Dietary Allowances* (RDA) e *Adequate intake* (AI), apresentados nas Tabelas 4, são para indivíduos, masculinos e femininos, na faixa etária de 19 e 30 anos. Para o fósforo, potássio e o cálcio, os teores apresentados são iguais para ambos os gêneros. Para o magnésio, zinco e ferro são apresentados dois valores, sendo o primeiro valor, aplicado ao gênero masculino e o segundo, ao gênero feminino.

TABELA 4 Composição de minerais das matérias-primas em base seca e valores de ingestão dietética de referencia (RDA e AI)

Matérias-primas	Minerais (mg/100g)					
	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe
Arroz	120 ^d	50 ^d	0 ^d	30 ^c	1,58 ^d	5,75 ^d
Farinha Desengordurada de Soja	700 ^b	2360 ^a	860 ^c	280 ^b	4,43 ^c	14,78 ^b
Gergelim integral	530 ^c	560 ^c	1500 ^b	280 ^b	6,44 ^b	13,07 ^c
Torta de gergelim	1130 ^a	1210 ^b	1920 ^a	490 ^a	12,89 ^a	23,89 ^a
RDA (mg/dia)*	700	-	-	400/ 310	11/8	8/18
AI (mg/dia)**	-	4700	1000	-	-	-

Médias seguidas de letra igual, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

* *Recommended Dietary Allowances*, ** *Adequate intake* para homens e mulheres entre 19 e 30 anos (Institute of Medicine - IOM, 1997, 2000, 2004).

O arroz apresentou os menores teores para os minerais analisados dentre as matérias-primas utilizadas. Porém, em relação ao ferro e ao zinco, obteve valores superiores ao relatado por Naves (2007) que encontrou 0,8 a 1,3 mg/100g e 1,0 a 1,1 mg/100g; e pela FAO (2004) 1,2 mg/100g e 0,8 mg/100g, respectivamente.

A FDS apresentou teor de potássio superior ao arroz, GI e TG. Quando comparada com a soja integral, analisada por Kawaga (1995), neste trabalho foram apresentados valores superiores de fósforo (500 mg/100g), potássio (1900 mg/100g), cálcio (240 mg/100g), magnésio (200 mg/100g), zinco (3,2 mg/100g) e ferro (9,4 mg/100g). Uma explicação seria a concentração destes micronutrientes pela retirada do óleo.

O teor de minerais, encontrado na TG, foi superior ao encontrado na GI, porém, ambos foram superiores aos valores de Costa et al. (2007) para sementes de gergelim, cultivadas sob irrigação, que apresentaram em média 3,20 a 4,31 mg/100g de ferro; 242,61 a 351,72 mg/100g de fósforo; 294,91 a 331,28 mg/100g de potássio; e por Weiss (1983) citado por Arriel et al. (2007) para cálcio (1160mg/100g), fósforo (616mg/100g) e Ferro (10,50mg/100g).

Comparando os teores de minerais das matérias-primas com os valores de ingestão dietética de referências para adultos, pode-se concluir que 100g de GI supre as necessidades diárias de cálcio para ambos os sexos e de ferro para o sexo masculino. Já a torta de gergelim contribui com 100% das recomendações diárias para fósforo, cálcio, magnésio, zinco e ferro, não conseguindo alcançar as necessidades recomendadas apenas para o potássio. O teor de fósforo, cálcio e ferro para o sexo masculino, presente em 100g de FDS, estão dentro das recomendações diárias de adulto. Com os valores, encontrados para o arroz, não se conseguiu atender em 100g as recomendações para nenhum dos minerais analisados.

5.4 Aminoácidos

A Tabela 5 apresenta a composição em grama (g) de aminoácidos por 100 grama de proteína, contida nas matérias-primas, utilizadas para a elaboração dos extrudados expandidos.

TABELA 5 Conteúdo de aminoácidos do arroz, farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG) em grama por 100g e recomendações diárias de aminoácidos essenciais para crianças, jovens e adultos

Aminoácidos	g/100g de proteína				FAO* (g/100g de proteína)		
	Arroz	FDS	GI	TG	2-5 anos	10-12 anos	Adulto
Essenciais							
Histidina	0,87	5,23	2,64	1,41	1,9	1,9	1,6
Treonina	1,25	7,34	3,31	1,77	3,4	2,8	0,9
Valina	2,54	9,31	5,18	2,77	3,5	2,5	1,3
Lisina	1,25	10,02	2,84	1,51	5,8	4,4	1,6
Isoleucina	1,73	9,22	4,47	2,39	2,8	2,8	1,3
Leucina	3,53	15,00	7,91	4,22	6,6	4,4	1,9
Aromáticos (Phe+Tyr)	4,83	22,63	12,06	6,44	6,3	2,2	1,9
Sulfurados (met+Cys)	nd	nd	nd	nd	2,5	2,2	1,7
Triptofano	nd	nd	nd	nd	1,1	0,9	0,5
Não essenciais							
Asparagina	3,84	19,46	8,77	4,68	-	-	-
Serina	2,33	11,56	5,79	3,09	-	-	-
Glutamina	7,90	30,85	18,88	10,07	-	-	-
Glicina	1,78	8,21	5,32	2,84	-	-	-
Arginina	3,63	15,28	13,85	7,39	-	-	-
Alanina	2,54	8,04	4,75	2,54	-	-	-
Prolina	2,44	10,92	4,48	2,39	-	-	-

*Recomendado para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos (FAO, 1990).

nd – não determinado

Conforme a Tabela 5, os aminoácidos da FDS apresentaram teores mais elevados que o arroz, grão integral e torta de gergelim. O arroz foi o que apresentou os menores valores de aminoácidos e, quando comparado com a TG, mostrou teores semelhantes para alanina e valores levemente acima para prolina.

O teor de lisina das variedades de arroz mais comumente consumido está entre 30 e 40 mg/g de proteína (FAO, 1970; Sotelo et al., 1994). Todavia, podem ser encontrados teores de lisina mais elevados, conforme constatado por Zhai et al. (2001) em variedades de arroz selvagem.

Segundo a Embrapa (2010), o arroz possui um perfil de aminoácidos essenciais mais adequados em termos nutricionais que o de outros cereais como o milho comum e o trigo; e, quando combinado com alguma leguminosa, proporciona uma melhoria na qualidade proteica.

A farinha desengordurada de soja satisfaz as necessidades requeridas pela FAO para crianças e adultos para todos os aminoácidos essenciais analisados, destacando-se os aminoácidos lisina, isoleucina, leucina e aromáticos.

Firmino & Beltrão (1997) quantificaram o valor proteico dos grãos de gergelim cultivar CNPA G-2. Obtiveram valores superiores ao padrão da FAO, para os aminoácidos essenciais, obtendo valores de 3,81; 7,42; 9,1; 3,19; 4,59; e 3,77 para isoleucina, leucina, aromáticos, sulfurados, valina e treonina em g de aminoácido por 100g de proteína, com exceção do aminoácido lisina (3,41), que se apresentou limitante para o gergelim integral. Resultado esse semelhante ao encontrado neste trabalho para o gergelim integral.

A Tabela 6 apresenta os escores químicos das matérias-primas para obtenção dos extrudados expandidos.

TABELA 6 Escores químicos (%) do arroz, farinha desengordurada de soja (FDS), gergelim integral (GI) e torta de gergelim (TG)

Aminoácidos essenciais	FAO (mg de aminoácidos/ g de proteína)	Escore químico (%)			
		Arroz	FDS	GI	TG
Treonina	34	36,76	215,88	97,35	93,16
Valina	35	72,57	266,00	148,00	79,14
Lisina	58	21,55	172,76	48,96	26,03
Isoleucina	28	61,78	330,35	159,64	85,36
Leucina	66	53,48	227,27	119,85	63,94
Fenilalanina + Tirosina	63	76,67	359,20	191,42	102,22
Metionina +Cistina*	25	208,00	120,00	127,60	124,00
Triptofano*	11	118,18	118,18	-	-

*Para fins de cálculos utilizou-se valores de Firmino & Beltrão (1997), Maia et al. (1999), Benvenido (1985) e Amaral (2006).

O aminoácido que mais limita o aproveitamento biológico das proteínas dos cereais é a lisina. Fato este comprovado no presente trabalho, em que se apresentou limitante para o arroz (Tabela 6). A proporção de lisina da proteína do arroz, em relação ao padrão FAO/WHO, ou escore de químico, foi de 21,55% para o arroz polido. Entretanto, o arroz demonstrou as necessidades de treonina, valina, isoleucina, leucina e dos aminoácidos aromáticos para adultos.

Neste trabalho não foi detectado nenhum aminoácido limitante para a farinha desengordurada de soja (FDS).

Conforme Tabela 6, o escore químico para o gergelim integral foi de 48,96%, mostrando-se como o aminoácido limitante dessa proteína, resultado este semelhante ao de Firmino & Beltrão (1997).

Maia et al. (1999), avaliando nutricionalmente misturas proteicas de farinha desengordura de gergelim com farinha extrudada de feijão caupi, encontraram que o escore químico foi, significativamente, maior misturando as farinhas, do que em qualquer uma delas isoladas, comprovando a sua complementação, pois, o gergelim é deficiente em lisina e o feijão em

aminoácidos sulfurados. Entre as formulações estudadas, consideraram que a melhor formulação foi a combinação de 65:35% de proteína de caupi-gergelim, apresentando digestibilidade de 83,35% e um escore químico de 105,95% para sulfurados e 111,64% para lisina, uma vez que a combinação de 52:48% apresentou a lisina como aminoácido limitante e a combinação de 82:12% o limitante passou a ser os sulfurados.

Na Tabela 6 pode-se observar que a lisina foi o aminoácido limitante encontrado na TG. Resultado este semelhante ao relatado por Maia et al. (1999) para a farinha desengordurada de gergelim. Salienta-se que estes mesmo autores encontraram valores elevados de aminoácidos sulfurados, para a farinha desengordurada de gergelim, apresentando um escore químico de 140,36%. Assim, o excesso de lisina na FDS e o excesso de sulfurados no gergelim e no arroz, provavelmente, possibilitarão a obtenção de uma mistura de alta qualidade proteica.

As Tabelas 7 e 8 apresentam a composição dos aminoácidos essenciais e não essenciais, encontrada nos *snacks* expandidos, contendo ou não gergelim, adicionado nas quantidades 5, 10, 15 e 20% e as recomendações de aminoácidos da FAO para crianças de 2 a 5 anos.

TABELA 7 Conteúdo de aminoácidos dos snacks expandidos contendo arroz, farinha desengordurada de soja (FDS) e gergelim integral (GI), em diferentes proporções (5, 10 ,15 e 20%) e recomendações de aminoácidos da FAO para crianças de 2 a 5 anos

Aminoácido	Arroz + FDS		Arroz + FSD + gergelim integral								FAO*
	g/100g de proteína	g/100g de produto	g/100g de proteína				g/100g de produto				
			5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%	
Essenciais											
Histidina	7,96	0,13	6,84	7,01	6,97	6,47	0,13	0,13	0,14	0,15	1,9
Treonina	3,16	0,18	2,51	2,48	2,31	2,11	0,18	0,19	0,20	0,21	3,4
Valina	4,22	0,33	3,18	3,14	3,01	2,47	0,32	0,32	0,35	0,36	3,5
Lisina	5,08	0,21	5,47	6,32	7,19	8,24	0,17	0,19	0,21	0,20	5,8
Isoleucina	5,44	0,25	4,81	4,28	4,00	3,66	0,25	0,26	0,28	0,29	2,8
Leucina	9,29	0,47	10,00	11,28	12,98	14,70	0,47	0,47	0,50	0,52	6,6
Aromáticos (Phe + Tyr)	13,24	0,63	14,74	14,26	15,47	18,30	0,67	0,65	0,69	0,74	6,3
Sulfurados (met + Cys)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,5
Triptofano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,1
Não essenciais											
Asparagina	5,21	0,60	4,05	4,11	4,18	4,03	0,55	0,61	0,65	0,65	-
Serina	7,26	0,33	8,17	8,46	8,90	9,83	0,32	0,34	0,36	0,38	-
Glutamina	16,13	1,12	13,36	14,28	14,61	13,69	1,06	1,17	1,26	1,30	-
Glicina	1,79	0,24	2,04	1,93	2,10	2,42	0,26	0,27	0,30	0,32	-
Arginina	6,57	0,44	7,51	7,78	9,00	10,48	0,50	0,53	0,61	0,66	-
Alanina	11,17	0,32	12,83	13,23	15,34	17,47	0,31	0,32	0,34	0,36	-
Prolina	3,21	0,32	2,51	2,41	2,31	1,98	0,31	0,31	0,34	0,33	-

*Recomendado para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos (FAO, 1990).

nd – não determinado

Observa-se, na Tabela 7, que os extrudados expandidos adicionados de 20% de gergelim integral apresentaram em sua maioria teores de aminoácidos mais elevados que os *snacks* de arroz e soja. Atendem em torno de 10% das recomendações diárias da FAO para crianças de 2 a 5 anos de idade para os aminoácidos essenciais treonina, isoleucina e leucina presentes em 100g do produto. Os aminoácidos histidina, valina e os aromáticos mostram-se abaixo dos 10% dos valores preconizados pela FAO, salientado que os aminoácidos sulfurados e o triptofano não foram analisados neste estudo.

TABELA 8 Conteúdo de aminoácidos dos *snacks* expandidos contendo arroz, farinha desengordurada de soja (FDS) e torta de gergelim (TG) em diferentes proporções (5, 10 ,15 e 20%) e recomendações de aminoácidos da FAO para crianças de 2 a 5 anos

Aminoácido	Arroz + FDS		Arroz + FSD + torta de gergelim								FAO*	
	g/100g de proteína	g/100g de produto	g/100g de proteína				g/100g de produto					
			5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%		
Essenciais												
Histidina	7,96	0,13	9,34	9,28	9,45	7,59	0,15	0,16	0,15	0,15	1,9	
Treonina	3,16	0,18	3,53	3,28	3,11	2,53	0,21	0,22	0,20	0,21	3,4	
Valina	4,22	0,33	4,83	4,46	4,49	3,38	0,37	0,41	0,40	0,40	3,5	
\Lisina	5,08	0,21	6,50	7,73	7,76	9,23	0,30	0,34	0,33	0,30	5,8	
Isoleucina	5,44	0,25	4,73	4,53	4,29	3,54	0,30	0,34	0,32	0,32	2,8	
Leucina	9,29	0,47	11,83	14,02	13,86	16,64	0,54	0,62	0,57	0,58	6,6	
Aromáticos (Phe + Tyr)	13,24	0,63	11,95	12,95	12,66	15,02	0,71	0,80	0,73	0,77	6,3	
Sulfurados (met + Cys)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,5	
Triptofano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,1	
Não essenciais												
Asparagina	5,21	0,60	5,18	5,18	5,23	4,25	0,71	0,78	0,86	0,74	-	
Serina	7,26	0,33	7,66	8,18	7,85	9,34	0,38	0,41	0,39	0,39	-	
Glutamina	16,13	1,12	17,71	18,27	18,90	15,19	1,31	1,46	1,41	1,38	-	
Glicina	1,79	0,24	1,64	1,72	1,62	2,02	0,28	0,31	0,29	0,30	-	
Arginina	6,57	0,44	6,24	6,98	6,70	8,60	0,55	0,63	0,60	0,64	-	
Alanina	11,17	0,32	10,84	12,48	12,51	15,04	0,36	0,40	0,37	0,37	-	
Prolina	3,21	0,32	3,61	3,40	3,25	2,56	0,37	0,41	0,39	0,38	-	

*Recomendado para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos.
nd – não determinado

Conforme a Tabela 8, provavelmente, a quantidade adicionada de 10% de torta de gergelim, nas formulações para elaboração dos *snacks*, tenha atingido um valor máximo para adequação das proteínas de arroz, FDS e TG. As adições superiores a este valor, 15 e 20%, provavelmente, interferiram na excelência da combinação proteica do casal cereal e leguminosa que foi a base das formulações analisados neste estudo.

Observa-se que a adição de 10% de TG, provavelmente, influencia a combinação de arroz e soja no produto final, salientando que, neste estudo, trabalhou-se com adição e não com substituição do gergelim.

Pela análise de variância, para os aminoácidos asparagina, serina, glutamina, prolina, valina, lisina, isoleucina e leucina, mostrou-se que a fonte de variação substrato (GI e TG) e tratamento adicional (*snacks* de arroz e soja) foram significativos. A adição de GI e TG melhorou os resultados, quando comparados com extrudados de arroz e FDS; e estes variaram, de acordo com o tipo de substrato utilizado, apresentando o substrato TG maiores médias para estes aminoácidos.

Não houve diferença entre os aminoácidos histidina, treonina e alanina, para os extrudados expandidos, contendo GI e TG, porém, quando comparados com os *snacks* de arroz e FDS (tratamento adicional) apresentaram maiores médias.

Observa-se, por meio da análise de variância para o aminoácido glicina, que a fonte de variação dose (5%, 10%, 15% e 20%) e tratamento adicional foram significativos (Anexo 6B). A análise de regressão para a fonte de variação dose apresentou o modelo linear como o melhor modelo estimado tendo coeficiente de determinação igual a 98,94%, como pode ser visualizado na Figura 10C em Anexo. Pode-se observar que, com o aumento do teor das doses de gergelim, o teor de glicina foi aumentando linearmente de 0,28 a 0,30g/100g nos *snacks* contendo GI e de 0,26 a 0,32g/100g nos *snacks* contendo TG.

Pela análise de variância, para o aminoácido arginina (Anexo 7B), mostrou-se que a interação substrato*dose e o contraste com o tratamento adicional foram significativos. A forma de gergelim (grão ou torta) e as quantidades adicionadas nos extrudados expandidos não influenciaram, isoladamente, a variável arginina e a média do tratamento adicional foi menor do que a do fatorial. A análise do desdobramento de substrato dentro de cada nível de dose mostrou que não houve diferença significativa entre as médias do substrato GI e TG para as doses 5% e 15%. Para as doses 10 e 20% houve diferença significativa entre as médias, obtendo a dose 10% maiores médias para o substrato GI e a dose 20% maiores médias para o substrato TG, conforme Tabela 8 e 9. Com a análise de regressão constatou-se que o melhor modelo estimado, que representou os resultados, foi o modelo reta com baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 58,78\%$), para o substrato GI, de acordo com o Anexo 11C.

O modelo linear, estimado pela análise de regressão, foi o que melhor representou os resultados obtidos para o teor de arginina conforme a adição de TG nos níveis estudados (Anexo 12C).

Observa-se que tanto a adição da GI quanto a adição da TG contribuíram para o aumento do aminoácido arginina dos extrudados expandidos.

Pelos resultados da análise de variância para o teor de fenilalanina dos *snacks*, obtidos de arroz e FDS adicionados de gergelim na forma de grão e torta, podem ser visualizados no Anexo (Tabela 8B). Nota-se que a interação substrato*dose e o contraste com o tratamento adicional foram significativos. Essa variável não consegue ser explicada somente pela forma de gergelim adicionado ou pelo aumento das doses de gergelim e, sim, pela interação entre elas, apresentando médias diferentes entre o tratamento adicional e o fatorial. Considerando-se a análise do desdobramento do substrato, dentro de cada nível de dose, observou-se que houve somente diferença significativa entre as médias

para a dose 10%. Por meio da análise de regressão obteve-se o melhor modelo estimado para o substrato GI, o modelo cúbica, representando perfeitamente os resultados obtidos para a fenilalanina ($R^2 = 100\%$), como pode ser visto na Figura 13C em Anexo. Para o substrato TG foi o modelo linear, com índice de determinação igual a 85,62% (Anexo 14C).

Os resultados da análise de variância, para o aminoácido tirosina, contido nos *snacks* de arroz, soja e gergelim pode ser visto na Tabela 9B em Anexo. Observa-se que a interação não foi significativa e o teor de tirosina variou tanto com adição de GI e TG como com o aumento do nível da dose adicionada. O substrato TG obteve maiores médias que o substrato GI, de acordo com o teste de Tukey, no nível de 5% de significância, como pode ser visto na Tabela 8 e 9. O modelo Reta foi o melhor modelo estimado para representar a variação dos teores de tirosina em relação ao aumento dos níveis de gergelim, representando 94,42% (Anexo 15C).

Por esses resultados, verifica-se que a adição e o aumento das proporções de GI e TG resultaram num aumento nos teores de aminoácidos, quando comparados com os *snacks* de arroz e soja, obtendo-se modelos lineares, com exceção da fenilalanina que apresentou modelo cúbica.

Os aminoácidos predominantes nos dois tipos de extrudados foram o ácido glutâmico, os aromáticos, leucina e alanina. Quando analisada a composição de aminoácidos na proteína (g/100g de proteína), verifica-se uma menor concentração da maioria dos aminoácidos nos *snacks* contendo GI quando comparado com os contendo TG. Esse fato pode ser explicado pela diferença de composição, bem como suas modificações no processamento de extrusão.

O *snack* formulado com arroz e soja não conseguiu alcançar as recomendações da FAO apenas para o aminoácido lisina, porém, quando adicionados de GI e TG, em todas as proporções, obteve índices satisfatórios

deste aminoácido. Isso mostra que a mistura das farinhas, em todas as doses, foram adequadas e a lisina não foi afetada, em nível crítico, pelo processo de extrusão.

Observa-se que o perfil de aminoácidos essenciais dos extrudados contendo 5% de TG consegue suprir as recomendações para todos os aminoácidos essenciais, recomendados pela FAO/WHO, para crianças de 2 a 5 anos de idade. Com base na dose 10%, houve uma diminuição nos níveis do aminoácido treonina, não conseguindo este suprir as recomendações.

A proteína dos extrudados expandidos, contendo GI para os aminoácidos treonina e valina, em todas as doses, não conseguiram atender as recomendações da FAO/WHO para crianças de 2 a 5 anos de idade. Por outro lado, esta proteína apresentou valores altos para os aminoácidos leucina e aromáticos (fenilalanina e tirosina), ultrapassando 51% e 134%, respectivamente, do teor recomendado.

Os resultados obtidos no presente trabalho se diferenciaram dos encontrados por Wilmot et al. (2001), os quais estudaram o efeito de duas formulações de farinhas; uma contendo milho, feijão, soja e óleo de soja (F1), na proporção de 50:35:10:5, respectivamente; e a segunda, contendo milho, feijão e amendoim (F2) na proporção de 43:42:15, respectivamente, para complementação dos aminoácidos de suas proteínas. Constataram que o processo de extrusão aumentou a digestibilidade das farinhas, quando comparadas com a formulação torrada, elevando o PDCAAS de 0,76 para 0,80 (F1) e de 0,72 para 0,82 (F2). A proporção utilizada entre as matérias-primas não conseguiu suprir as necessidade propostas pela FAO/WHO, para crianças de 2 a 5 anos de idade, apresentando a lisina como aminoácido limitante para as duas formulações. Krüger et al. (2003) utilizaram caseinato de sódio para elaboração de biscoitos salgados tipo “*snacks*”, para melhorar a qualidade proteica desse tipo de produto. Observaram que a proteína do biscoito apresentou-se deficiente em lisina, com 80% do teor recomendado para crianças

de 2 a 5 anos de idade, resultando um escore químico de aminoácidos de 0,81 tendo por base o conteúdo de lisina do padrão e um PDCAAS DE 76,3%.

6 CONCLUSÃO

As matérias-primas, farinha desengordurada de soja e torta de gergelim, apresentaram elevados teores de proteínas, satisfazendo as necessidades requeridas pela FAO, para crianças e adultos, para a maioria dos aminoácidos essenciais, à exceção da lisina e da treonina para torta de gergelim. O gergelim integral e a torta de gergelim apresentaram alto teores de ferro e zinco

Os *snacks* adicionados de torta de gergelim podem ser considerados fontes de fibra em todas as quantidades estudadas.

A adição de gergelim integral e torta de gergelim, nos extrudados de arroz e soja apresentaram um efeito complementar significativo, pois, aumentaram os valores das proteínas nas formulações.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Portaria n° 27, 13 de janeiro de 1998. Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 de janeiro de 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC n° 269, de 23 de setembro de 2005. Regulamento técnico referente à ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 set. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Rotulagem nutricional obrigatória**: manual de orientação aos consumidores educação para o consumo saudável. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analytical of Association of Official Analytical Chemists**. 15 ed. Washington, 1990.v. 2.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16. ed. Washington, 1997. v. 2.

ARAÚJO, A. M.; SOARES, J. J.; BELTRÃO, N. E. M.; FIRMINO, P. T. **Cultivo do gergelim**. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2006.

ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. de T.; BELTRÃO, N. E. de M.; SOARES, J. J.; ARAÚJO, A. E. de; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. **A cultura do gergelim**. Brasília: Embrapa, 2007. 72 p. (Coleção Plantar, 50).

BAKAR, J.; HIN, Y. S. High-protein rice-soya breakfast cereal. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 8, n. 3/4, p.163-174, Nov. 1984.

BELTRÃO, N. E. A importância da cultura do gergelim para a região nordeste. **CNPA Informa**, Campina Grande, n. 19, p. 5, dez. 1995.

BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Gergelimcultura no trópico semi-árido nordestino**. Campina Grande: Embrapa Algodão. 52p. 1994. (Circular Técnica, 18).

BOBBIO, P. A. ; BOBBIO, F. O. . **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1992. v. 1, 151 p.

BOLOORFOROOSHAN, M.; P. MARKAKIS, P. Protein supplementation of navy beans with sesame. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 44, n. 2, p. 390-391, Mar. 1979.

BRODY, T. **Nutritional biochemistry**. London: Academic, 1994. 658p.

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food chemistry**, London, v. 20, n. 3, p. 263-283, 1986.

COLONNA, P.; MERCIER, C. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 3, n. 2, p. 87-108, 1983.

COSTA, M. L. M.; GONDIM, T. M. S.; ARAUJO, I. M. S.; MILANI, M.; SOUSA, J. S.; FEITOSA, R. M. Características físico-químicas de sementes de genótipos de gergelim. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 867-869, jul. 2007. Suplemento 1.

CRUZ, G. A. D. R.; OLIVEIRA, M. G. A.; PIRES, C. V.; GOMES, M. R. A.; COSTA, M. N. B.; BRUMANO, M. H. N.; MOREIRA, M. A. Protein quality and *in vivo* digestibility of different varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 157-162, 2003.

ELIAS, L. G.; JARQUIN, R.; BRESSANI, R. Suplementación del arroz com concentrados protéicos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 28, n. 1, p. 27-38, mar. 1968.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Composição nutricional do arroz**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do gergelim: composição química e usos**. Brasília: Embrapa Algodão, 2006. (Sistemas de Produção, 6).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A Soja**. Londrina: Embrapa Soja. 2009.

FERNANDES, S. M.; WANG, S. H.; CABRAL, L. C. Caracterização química de extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 4, p. 843-847, abr. 2000.

FERREIRA, L. O. C. **A ação do sulfato ferroso administrado em doses diárias e semanais em escolares da mata sul de Pernambuco: um ensaio terapêutico.** 1998. Tese (Doutorado em Nutrição) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

FIRMINO, P. T.; BELTRÃO, N. E. M. **Valor protéico de sementes de gergelim (*Sesamum Indicum* L.) cultivar CNPA G-2.** Campina Grande: Embrapa/CNPA, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Amino-acid content of food and biological data on proteins.** Rome, 1970. (FAO Nutritional Studies, 24).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **El arroz y la nutrición humana.** Rome, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Necessidades de energia y de proteínas.** Ginebra, 1985. (Informes Técnicos).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Protein quality evaluation.** Rome, 1990

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos.** 9. ed. São Paulo: Atheneu, 2001. 307p.

GARCIA, L. A.; ALFARO, M. A.; BRESSANI, R. Digestibility and protein quality of raw and heat-processed defatted and nondefatted flour prepared with three amaranth species. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, London, v. 35, n. 5, p. 604-607, May 1987.

GIARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações, modificações.** São Paulo: Varela, 1996. 517 p.

HARPER, J. M. **Extrusion of foods.** Florida: CRC, 1981.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D and fluoride.** Washington: National Academy, 1997.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc.** Washington: National Academy, 2000.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride and sulfate.** Washington: National Academy, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estudo nacional da despesa familiar:** tabela de composição de alimentos. 5. ed. Rio de Janeiro: Varela, 1999. 137p.

KAGAWA, A. (Ed.). **Standard table of food composition in Japan.** Tokyo: University of Nutrition for women, 1995.

KRÜGER, C. C. H.; COMASSETTO, M. C. G.; CÂNDIDO, L. M. B.; BALDINI, V. L. S.; SANTTUCCI, M. C.; GIARBIERI, V. C. Biscoitos tipo “cookie” e “snack” enriquecidos, respectivamente com caseína obtida por coagulação enzimática e caseinato de sódio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 81-86, jan./abr. 2003.

LEITÃO, R. F. F. **Tecnologia de macarrão.** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1990. v. 3, 71 p.

MAIA, G. A.; CALVETE, Y. M. A.; TELLES, F. J. S.; MONTEIRO, J. C. S.; SALES, M. G. Eficiência da farinha desengordurada de gergelim como complemento protéico da farinha extrudada de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1295-1303, jul. 1999.

MAIA, L. H.; WANG, S. H.; FERNANDES, M. S.; CABRAL, L. C. Características químicas dos mingaus desidratados de arroz e soja **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 416-423, jul./set. 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação de estudo nutricional de plantas.** Piracicaba: Potafos, 1989. 201p.

MIURA, E. M. Y.; BINOTTI, M. A. R.; CAMARGO, D. S.; MIZUBUTI, I. Y.; IDA, E. I. Avaliação biológica de soja com baixas atividades de inibidores de tripsina e ausência do inibidor Kunitz. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 51, n. 2, p. 1-8, jun. 2001.

NAMIKI, M. Nutraceutical functions of sesame: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Ranton, v. 47, n. 7, p. 651-73, July 2007.

NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 51-60, jan./jun. 2007.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 153, n. 2, p. 375-380, July 1944.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO. **TACO**: tabela brasileira de composição de alimentos. Campinas, 2006. 113 p.
OLIVEIRA, J. E. D.; SANTOS, A. C.; WILSON, E. D. **Nutrição básica**. São Paulo: Sarvier, 1982. p. 79-97.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 179-187, jan. 2006.

RECOMMENDED DIETARY ALLOWANCES. **National research council**. 10. ed. Washington: National Academy, 1989. 284p.

SOTELO, A.; HERNANDEZ, M.; MONTALVO, I.; SOUSA, V. Amino acid content and protein biological evaluation of 12 Mexican varieties of rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, n. 6, p. 605-609, Nov./Dec. 1994.

SPACKMAN, D. H.; STEIN, W. H.; MOORE, S. Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 30, n. 7, p. 1190-1206, July 1958.

WILLIAMS, S. R. **Fundamentos de nutrição e dietoterapia**. 6. ed. Porto Alegre: Artes médicas, 1997.

WILMOT, Y. M.; PHILLIPS, R. D.; HARGROVE, J. L. Protein quality evaluation of cowpea-based extrusion cooked cereal/legume weaning mixtures. **Nutrition Research**, Tarrytown, v. 21, n. 6, p. 849-857, June 2001.

ZHAI, C. K.; LU, C. M.; ZHANG, X. Q.; SUN, G. J.; LORENZ, K. J. Comparative study on nutritional value of Chinese and North America wild rice. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 14, n. 4, p. 371-382, Aug. 2001.

CAPÍTULO 4

**ASPECTOS SENSORIAIS, FÍSICOS E QUÍMICOS DE BARRAS
ALIMENTÍCIAS ELABORADAS A PARTIR DE FLOCOS
EXTRUDADOS DE ARROZ, SOJA E GERGELIM**

1 RESUMO

Entre os alimentos prontos, as barras de cereais são alimentos de fácil transporte e auxiliam no aporte energético e nutricional dos indivíduos, podendo ser avaliadas por meio de testes sensoriais que auxiliam na garantia de qualidade por ser uma medida multidimensional integrada. Desta forma, esse trabalho tem como objetivo obter e avaliar sensorialmente barras alimentícias de flocos expandidos de arroz, soja e gergelim, e verificar a sua aceitação perante os consumidores. Por meio da análise sensorial foi ajustado um mapa de preferência externo (MPE) vetorial aos dados de aceitação em relação às variáveis sensoriais (aparência, sabor, textura e aspecto global) e à intenção de compra, que permitiu identificar as características sensoriais apontando a barra elaborada com flocos contendo 15% de gergelim integral como a preferida e com maior intenção de compra, seguida pela barra alimentícia contendo 20% de torta de gergelim nos flocos. Após os resultados as barras selecionadas foram submetidas à composição centesimal aproximada, onde apresentaram valores satisfatórios para proteína e fibra alimentar; e à caracterização físico-química, apresentaram-se microbiologicamente estáveis por possuírem baixa atividade de água e pH na faixa exigida. Quanto a cor, as barras contendo torta obtiveram coloração voltada para amarelo claro e a barra contendo gergelim integral para amarelo avermelhado.

Palavras-chave: Análise sensorial, Barra alimentícia, Mapa de preferência externo, gergelim.

2 ABSTRACT

Among the prepared food, the cereal bars are easy to transport food and aid in energy intake and nutritional status of individuals and could be evaluated by sensory tests that assist in quality assurance measure to be a multidimensional approach. Thus, this study aims to obtain and evaluate sensorial bar food flakes expanded rice, soybean and sesame, and verify its acceptance to consumers. Through the evaluation was set an external preference mapping (EPM) data vector of acceptance in respect to the sensory variables (appearance, flavor, texture and overall appearance) and purchase intent, which helped to identify the sensory characteristics pointing to the bar prepared with flakes containing 15% sesame seed as preferred and with greater purchase intent, followed by bar food containing 20% cake sesame in flakes. After the results the selected bars were submitted to the approximate chemical composition, which showed satisfactory values for protein and dietary fiber, and the physical-chemical, were microbiologically stable for having low water activity and pH in the range required. As for color, the bars containing cake obtained turned to yellow color and the bar containing seed, reddish yellow.

Keywords: Sensory analysis, bar food, preferably external map, sesame.

3 INTRODUÇÃO

Criar hábitos alimentares saudáveis visando melhoria de qualidade de vida tem sido uma constante tanto entre crianças e adolescentes como em adultos e idosos.

Constantemente novas formulações para a elaboração de produtos extrudados são testadas visando atender as novas tendências do mercado consumidor que estabelece como meta alimentos com praticidade do consumo, nutritivos, com alegação de alimentos funcionais pela presença de fibras alimentares e outros constituintes e além de tudo que alimento seja saboroso.

Dentre os alimentos prontos para o consumo, as barras alimentícias se destacam por serem de fácil transporte e auxiliarem no aporte energético e nutricional dos indivíduos, além de poderem veicular uma gama de compostos funcionais, conforme ingredientes constituintes do produto e que atendam os consumidores de acordo com suas necessidades dietéticas e tem como desafio nas tendências atuais, a inserção de consumidores de baixo poder aquisitivo no consumo deste produto (Brito et al., 2004, Gomes & Montenegro, 2006).

A farinha desengordurada de soja contém cerca de 50% de proteínas, sendo consumida diretamente ou como matéria-prima para a obtenção de concentrados e isolados protéicos e texturizados. As proteínas de soja, como são comuns às leguminosas, apresentam teores elevados de lisina e reduzidos de aminoácidos sulfurados, como a metionina e cistina. Quando combinadas adequadamente com as proteínas dos cereais, a exemplo do arroz, que apresentam esta composição de aminoácidos em ordem inversa, obtém-se proteínas de melhor qualidade, devido à complementação dos aminoácidos essenciais. E como citado em Brody (1994), uma das combinações

nutricionalmente adequadas se estabelece com 50% de proteínas oriundas de cereais e 50% de leguminosas.

O gergelim ou sésamo (*Sesamum indicum L.*) é uma oleaginosa pertencente à família Pedaliaceae e seus grãos têm inúmeras utilidades, tanto para uso na alimentação humana, animal ou no uso medicinal. Seu óleo é rico em ácido oléico e no ácido graxo essencial, ácido linoléico. A partir da extração do óleo de gergelim, obtém-se a torta de gergelim, que é um resíduo da prensagem dos grãos integrais, rico em proteínas (40%), em resíduos minerais (13%), vitaminas, contendo aminoácidos essenciais, alguns em quantidades satisfatórias e ainda constituintes bioativos (sesamol, sesamina e sesamolina) (Aboissa Óleos Vegetais, 2006 citado por Costa et al, 2007; Beltrão et al., 1994).

Os testes sensoriais são incluídos como garantia de qualidade por ser uma medida multidimensional integrada, possuindo importantes vantagens, como capaz de identificar a presença ou ausência de diferenças perceptíveis, definir características sensoriais importantes de um produto de forma rápida e ser capaz de detectar particularidades que não podem ser detectadas por outros procedimentos analíticos (Muñoz et al., 1992).

Desta forma, esse trabalho teve por objetivo elaborar e selecionar, por meio de avaliação sensorial, barras alimentícias a base de flocos extrudados de arroz, soja e gergelim (grão integral e torta) e caracterizá-las físico-quimicamente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Elaboração da barra alimentícia

Foram elaborados quatro experimentos de barras alimentícias, a partir de flocos extrudados a base de arroz e farinha desengordurada de soja adicionados de 10 e 15% de gergelim integral (GI) e adicionados de 15 e 20% de torta de gergelim (TG), que foram selecionados a partir de suas características físicas para elaboração de barras. A barra foi constituída por 50% de ingredientes secos (flocos + gergelim integral) e 50% dos ingredientes do xarope, como pode ser visto na Tabela 1.

TABELA 1 Formulações das barras alimentícias a base de flocos de arroz, soja (FDS) e gergelim adicionados de 10 (BAGI10%) e 15% (BAGI15%) de gergelim integral (GI) ou de 15 (BATG15%) e 20% (BATG20%) de torta de gergelim (TG)

Ingredientes (%)	Formulações das barras alimentícias			
	BAGI10%	BAGI15%	BATG15%	BATG20%
Ingredientes secos				
Flocos	35,00	35,00	35,00	35,00
Arroz + FDS (g)	31,82	30,44	30,44	29,17
Gergelim (g)	3,18	4,56	4,56	5,83
Gergelim integral	15,00	15,00	15,00	15,00
Ingredientes do xarope				
Lecitina	1,75	1,75	1,75	1,75
Gordura vegetal hidrogenada	3,0	3,0	3,0	3,0
Sal	0,15	0,15	0,15	0,15
Canela	0,10	0,10	0,10	0,10
Açúcar	27,00	27,00	27,00	27,00
Mel	18,00	18,00	18,00	18,00

A preparação do xarope de aglutinação se deu em recipiente de aço inoxidável, onde os ingredientes pesados foram adicionados e aquecidos sob agitação, com acompanhamento do teor de sólidos solúveis totais em refratômetro digital, até a obtenção de um xarope de 85-89°Brix. Os ingredientes secos foram pesados e misturados ao xarope de aglutinação à temperatura em torno de 95°C, até completa homogeneização. A massa obtida foi laminada por meio de compressão manual com auxílio de um rolo plástico em uma forma de alumínio revestida com plástico polietileno, para impedir a aderência da massa na forma. Após o resfriamento em temperatura ambiente, a massa foi desenformada e cortada com faca de aço inoxidável em formato retangular (10 cm x 3 cm x 0,7 cm). As barras de alimentícias foram então acondicionadas individualmente em embalagens de filme flexível e armazenadas (Figura 1).

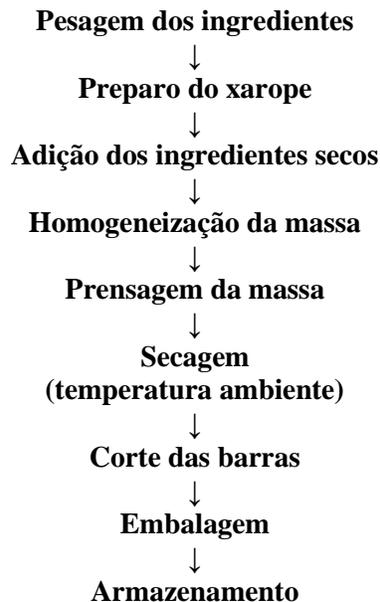


FIGURA 1 Fluxograma do processamento da barra alimentícia.

4.2 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal de Lavras com 80 provadores não treinados, de ambos os sexos e idade entre 18 e 60 anos de idade. A sessão foi conduzida em cabines individuais sob luz branca apresentando-se quatro amostras de barras alimentícias correspondentes às quatro diferentes formulações que variaram a adição de gergelim nos flocos expandidos com 10% e 15% de GI; e 15% e 20% de TG. Os consumidores avaliaram as amostras por meio da aplicação do teste de aceitação, preferência e intenção de compra apresentados em uma ficha de avaliação individual. Para o teste de aceitação foi utilizada escala hedônica não estruturada de nove pontos para os atributos de cor, aroma, sabor e textura, de acordo com Stone & Sidel (1993), que abrangiam “deGlostei muitíssimo” a “gostei muitíssimo”. O teste de preferência foi conduzido solicitando-se aos provadores que marcassem a amostra preferida; e o teste de intenção de compra foi realizado a partir de uma escala de cinco pontos variando de “certamente não compraria” a “certamente compraria”, conforme a ficha de avaliação sensorial em Anexo (Anexo – Figura 1D).

4.3 Caracterização físico-química das barras alimentícias

4.3.1 Composição centesimal

A composição centesimal foi determinada de acordo com os métodos da AOAC (1997). A umidade foi determinada pelo método gravimétrico nº 920.151 em estufa regulada a 105°C até peso constante da amostra; o resíduo mineral fixo (cinza) pelo método gravimétrico nº 940.26 por meio da calcinação da amostra em mufla a 550°C; proteínas pelo método Kjeldahl nº 920.87, extrato etéreo por extração em Soxhlet nº 31.4.02 e fibra alimentar de acordo com o método enzimático-gravimétrico (AOAC, 1997) descrito em Sigma Technical Bulletin, utilizando kit de determinação de fibra (Sigma Chemical Co.) e celite

como auxiliar de filtração. A fibra alimentar total (FAT) foi obtida pela soma da Fibra Alimentar Solúvel (FAS) e Fibra Alimentar Insolúvel (FAI). O teor de carboidratos foi estimado por diferença, subtraindo de 100 a soma dos teores de proteínas, lipídios, cinzas, fibras e umidade. As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em porcentagem.

4.3.2 pH, acidez e sólidos solúveis totais (SST)

O pH foi ser determinado com auxílio de um pH-metro digital de acordo com o método nº 981.12 da AOAC (1997); a acidez por titulação com ácido clorídrico 0,01N e os sólidos solúveis totais com auxílio de um refratômetro digital, segundo método nº 932.12 da AOAC (1997).

4.3.3 Atividade de água (Aw)

A análise foi realizada utilizando-se o aparelho Aqua Lab, modelo 3TE série v.3.0 (Decagon Devices Inc. Washington, EUA) com padrão de Aw de 0,492 em temperatura de 25°C.

4.4 Análise colorimétrica

A cor dos extrudados foi avaliada em colorímetro minolta chroma meter cr 200b. 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 valores do croma a* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores do croma b* variam do azul ao amarelo, ou seja, de -60 a +60, respectivamente.

4.5 Análise estatística

Os dados obtidos na caracterização das barras foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey

utilizando o programa SISVAR 5.2. Em todos os testes foi considerado o nível de significância de 5%.

Para a avaliação sensorial, foram feitas análises de variância para as variáveis sensoriais consideradas no estudo e análise multivaria Mapa de Preferência (Schlich, 1995) por meio do Software R (R Development Core Team, 2009).

Na ANAVA, para cada variável, foi considerado um experimento em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 4 x 2 (4 formulações vs 2 sexos). Cada bloco foi um consumidor. Avaliou-se a diferença entre as formulações por meio de contrastes mutuamente ortogonais, sendo eles:

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação sensorial das barras alimentícias

As médias dos atributos sensoriais: aparência, sabor, textura e aspecto global; para as barras alimentícias a base de flocos de arroz, farinha desengordurada de soja e gergelim, na forma de grão integral e torta, estão representadas na Tabela 2.

TABELA 2 Valores médios dos atributos sensoriais de barras alimentícias com gergelim integral (BAGI10% e BAGI15%) e barras alimentícias com torta de gergelim (BATG15% e BATG20%)

Variáveis	BAGI 10%	BAGI 15%	BATG 15%	BATG 20%
Aparência	6,32	6,76	6,72	6,52
Sabor	6,86	6,94	6,14	6,37
Textura	5,95	7,09	7,04	7,01
Aspecto Global	6,37	7,00	6,54	6,75

Atributos sensoriais: 1- Desgostei extremamente a 9- Gostei extremamente.

Os atributos sensoriais avaliados apresentaram diferença significativa no nível de 5% de significância para cada tratamento, onde receberam médias entre 6 e 7, que equivalem a gostei ligeiramente e gostei moderadamente, respectivamente. Não foram detectadas diferenças significativas entre os sexos para nenhuma das variáveis analisadas. A barra contendo flocos extrudados com 15% de gergelim integral recebeu as maiores médias em todos os atributos.

Os valores médios registrados para a aparência das barras alimentícias elaboradas com flocos extrudados de gergelim integral e com torta de gergelim foram estatisticamente iguais. Não houve diferença significativa entre as barras com tortas de gergelim. Porém a aparência média da barra com 15% de gergelim integral foi 0,44 pontos maior que a aparência média da barra de 10% de

gergelim integral ($p < 0,05$), uma possível explicação seria o tamanho dos flocos, que para esse tipo de produto se encaixa o menor, como pode ser visto na Tabela 3, e mais crocante.

TABELA 3 Valores médios do diâmetro e do comprimento em milímetros dos *snacks* de arroz e soja e arroz, soja e gergelim integral ou torta de gergelim.

Variáveis	Arroz + soja	Gergelim integral		Torta de gergelim	
		10%	15%	15%	20%
Diâmetro (mm)	7,40	5,00	4,37	4,80	3,57
Comprimento (mm)	13,17	7,22	7,62	8,05	4,88

A variável sabor foi 0,65 pontos maior para as barras contendo gergelim integral do que para as barras contendo torta ($p < 0,05$). Já os valores médios referente ao sabor entre as barras contendo gergelim integral e entre as contendo torta de gergelim foram estatisticamente iguais entre si.

A textura média das barras de torta foi, em média, 0,5 pontos maior que a textura das barras de gergelim ($p < 0,05$). A textura média da barra de 15% de gergelim apresentou 1,1 pontos maior que a textura média da barra com 10% de gergelim. Para as texturas médias das barras de 15% e 20% de torta foram estatisticamente iguais.

Os valores médios para o aspecto global das barras de gergelim e de torta foram estatisticamente iguais. O aspecto global médio da barra de 15% de gergelim é, em média, 0,6 pontos maior que o aspecto global médio da barra de 10% de gergelim. Os aspectos globais médios das barras de 15% e 20% de torta são estatisticamente iguais.

As formulações de barras alimentícias desenvolvidas neste estudo apresentaram, de um modo geral, valores superiores as barras de cereais funcionais sabor banana estudadas por Freitas & Moretti (2006), onde obtiveram

notas entre 4,03 e 6,05 para aparência, 5,11 e 5,32 para sabor, 4,08 e 5,29 para textura e 4,66 e 6,16% para impressão global.

O problema de se utilizar análise univariada é que se perde a informação de covariância entre as variáveis. Em consequência desta observação, optou-se por analisar os dados utilizando a ferramenta Mapa Externo da Preferência, apresentada a seguir.

Foi ajustado um mapa de preferência externo (MPE) vetorial (Schlich, 1995) aos dados de aceitação em relação às variáveis sensoriais (aparência, sabor, textura e aspecto global) e à intenção de compra.

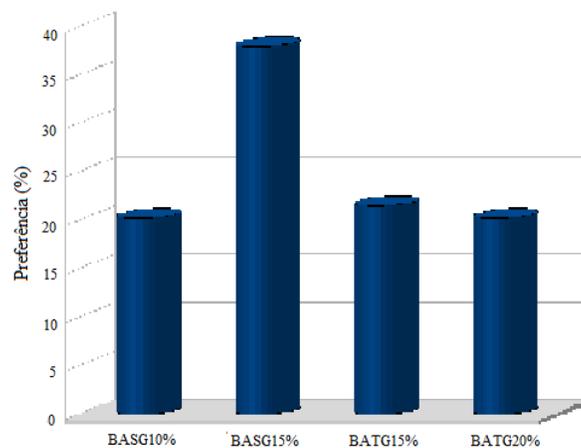


FIGURA 2 Gráfico de preferência das barras alimentícias elaboradas com flocos de gergelim extrudados

Em relação à preferência, não houve diferença significativa entre as formulações testadas e nem entre os sexos. Numericamente, a preferida entre os consumidores foi à barra alimentícia contendo flocos com 15% de gergelim (Figura 2). Dentre as barras alimentícias elaboradas com *snacks* contendo torta de gergelim, a barra de *snacks* com 15% foi à preferida pelos provadores, com 52% de aprovação. Assim como as barras elaboradas com *snacks* contendo

gergelim integral, a preferida foi a que continha *snacks* com 15% de gergelim integral, obtendo-se 65% de aprovação.

Os valores médios para a intenção de compra média das barras alimentícias de gergelim foram estatisticamente iguais. Dentre as barras contendo gergelim integral, a barra de 15% foi de 0,5 pontos maior para a intenção de compra que a de 10% ($p < 0,05$). Já entre as barras elaboradas com flocos contendo torta, não apresentaram diferença estatística para a intenções de compra.

A Figura 3 mostra o gráfico do espaço de produto, ou seja, a localização dos 4 produtos nos dois primeiros eixos principais, que representam combinações lineares das variáveis aparência, sabor, textura e aspecto global. Pode-se perceber a similaridade entre as barras feitas com torta; e a dissimilaridade das duas barras feitas com gergelim integral.

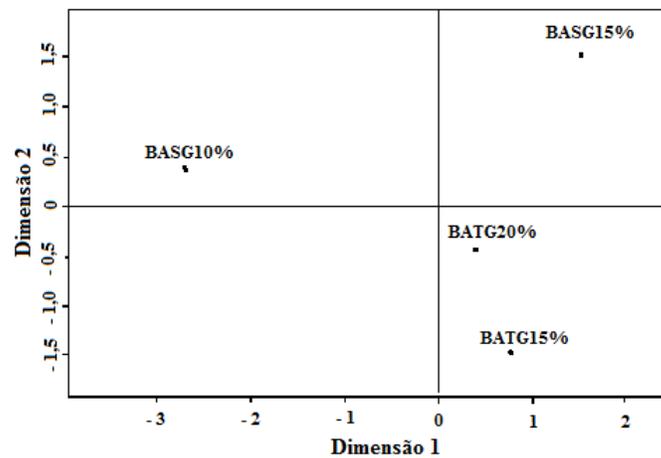


FIGURA 3 Gráfico representativo dos quatro tipos de barras alimentícias com gergelim.

Vale notar que os dois primeiros componentes principais, neste caso, são capazes de explicar 95,2% da variação total dos dados (dimensão 1= 65,04% e dimensão 2= 30,16%), o que sugere uma alta correlação entre as variáveis aparência, sabor, textura e aspecto global

A Figura 4 explica a localização dos quatros produtos no primeiro gráfico (Figura 3) de acordo com as variáveis sensoriais.

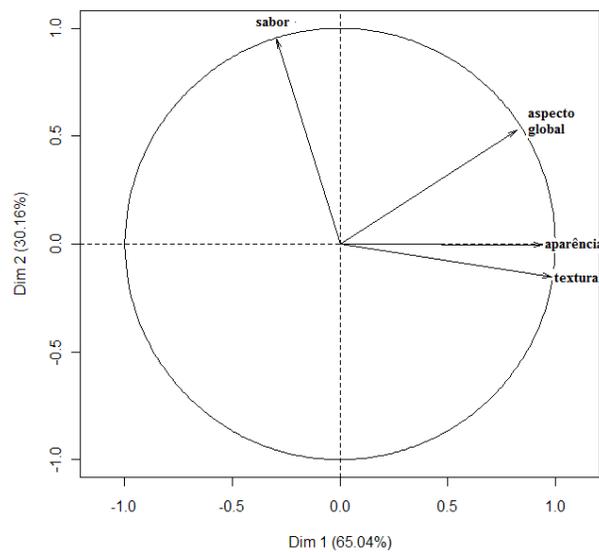


FIGURA 4 Gráfico representativo dos atributos sensoriais.

Observa-se (Figura 3 e 4) que a barra com 15% de gergelim está mais localizada no segundo quadrante, direção do vetor que indica notas altas em aspecto global. A BAGI15% por estar localizada mais a direita no eixo X, também é caracterizada por notas altas em aparência e textura; e por estar no lado positivo do eixo Y, também é caracterizada por notas altas em sabor. As barras feitas com flocos contendo torta possuem notas levemente altas para aparência e textura, porém valores muito baixos para sabor. Finalmente, a barra

com 10% de gergelim integral apresentam notas levemente altas em sabor, entretanto notas abaixo da média em aparência e textura.

Analisando o plano formado pelos dois primeiros eixos principais verificou-se que a primeira dimensão contribuiu com atributos de aparência, aroma e aspecto global; enquanto que a segunda dimensão foi relacionada notadamente com o atributo de sabor. Tais resultados podem ser vistos na Figura 4 e estão apresentados na Tabela 3.

A Figura 5 mostra o círculo de correlação que representa a direção da preferência dos consumidores. Nota-se que existem flechas pretas em todas as direções, o que quer dizer que existem consumidores com os mais variados gostos. As duas flechas azuis indicam que, na análise, os consumidores foram agrupados em dois grupos com gostos semelhantes.

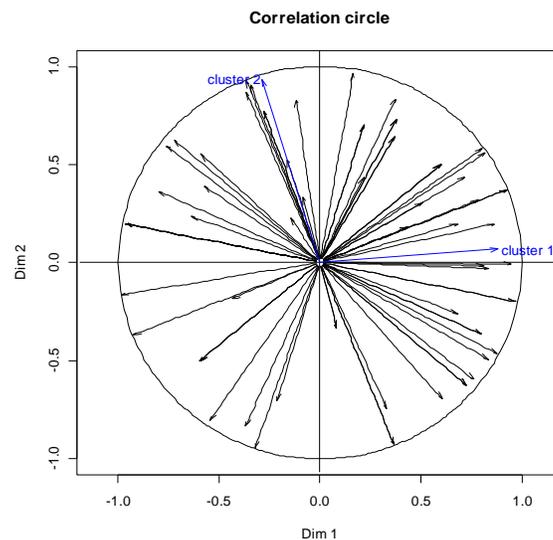


FIGURA 5 Círculo de correlação entre consumidores.

A Figura 6 apresenta o mapa de preferência externo propriamente dito.

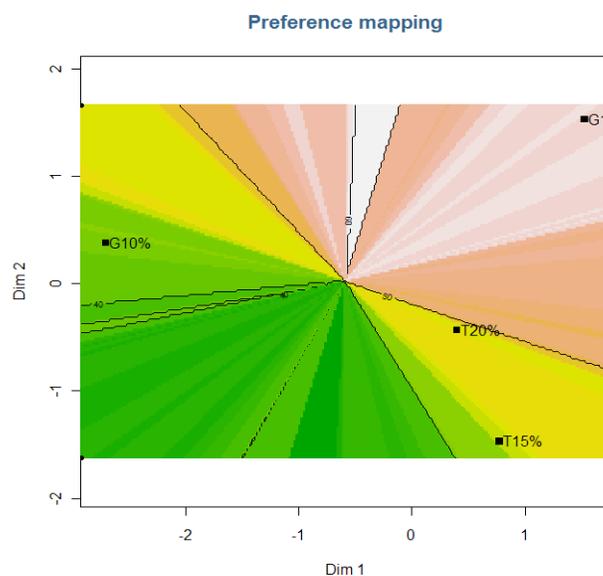


FIGURA 6 Mapa de preferência externo das barras alimentícias estudadas

Observa-se (Figura 6) a representação de um modelo vetorial (superfície plana), tratando-se de uma visão panorâmica de uma superfície inclinada para a diagonal direita superior, ou seja, a diagonal direita superior é mais alta que a diagonal esquerda inferior. Isso mostra que produtos localizados na região de cor rosa têm maior intenção de compra que produtos localizados na área de cor verde. Portanto, a barra com a maior intenção de compra é a barra com 15% de gergelim integral (BAGI15%), seguida pela barra contendo 20% de torta (BATG20%), 15% de torta (BATG15%) e 10% de gergelim integral (BAGI10%). Em uma análise conjunta com os gráficos anteriores, pode-se explicar essa grande intenção de compra de BAGI15% pelas suas notas altas em aparência, sabor, textura e aspecto global.

Resultado semelhante foi encontrado por Paiva (2008) que utilizou o mapa de preferência externo para analisar sensorialmente barras alimentícias de resíduos agroindustriais com diferentes proporções de quirera de arroz (QA) e

resíduo de extrato de soja (RES), e constatou que as barras contendo menos QA e mais RES foram às preferidas pelos consumidores, apresentando maiores notas para sabor, textura, aspecto global e intenção de compra.

Coelho (2006) estudando cereal matinal à base de farinha desengordurada de amaranto obteve a preferência de 96% dos provadores, devido esta apresentar sabor mais suave do que o elaborado com o grão integral que foi desaprovado pelo seu sabor amargo; e por obter maiores médias para aparência (7,26), textura (7,65) e aspecto global (7,0). Resultado este diferente ao encontrado neste estudo, uma vez que o gergelim integral não apresentou nenhum sabor desagradável e os flocos contendo GI obtiveram maiores médias sensoriais do que os contendo TG. A partir dos resultados do cereal matinal, este mesmo autor, elaborou dois tipos de barras de cereal, ambas contendo 70% de farinha desengordurada de amaranto, uma com amaranto estourado e a outra uma mistura de amaranto estourado e extrudado, que obtiveram boa aceitação. Porém a barra contendo amaranto estourado foi à preferida pelos consumidores, obtendo 66% de aprovação, onde 77% das notas foram superiores a sete. Resultado este obtido, devido às barras contendo amaranto extrudado apresentarem aspecto quebradiço. Aspecto esse apresentado pelas barras que continham menos gergelim, por obterem maiores flocos, o que dificultou na agregação destes com os demais ingredientes.

Cruz & Hedrick (1985) avaliaram o uso de farinha de gergelim como substituto econômico da carne em salames fermentados, substituindo 8, 18 e 27% de carne pela farinha, e encontrou uma boa aceitabilidade (médias >7) dos dois primeiros produtos.

De acordo com Dench et al. (1981) e Maia et al. (1999) é difícil encontrar produtos elaborados a partir da farinha de gergelim integral com alta aceitação sensorial, devido a farinha ser diferente daquelas obtidas da maioria

das oleaginosas, já que não apresentam sabor e odor fortes e nem pigmentos que possam prejudicar seu uso na formulação de alimentos.

5.2 Caracterização físico-química das barras alimentícias

A Tabela 4 apresenta a composição centesimal das barras alimentícias selecionadas por meio da análise sensorial.

TABELA 4 Composição centesimal e valor calórico das barras alimentícias contendo flocos de arroz, soja e gergelim integral a 15% (BAGI 15%) e torta de gergelim a 20% (BATG 20%)

Variáveis	BAGI 15%	BATG 20%
Umidade (%)	7,64 ^a	7,55 ^a
Proteína (%N x 6,25)	6,42 ^b	7,59 ^a
Lipídeos (%)	10,56 ^a	10,73 ^a
Cinzas (%)	3,56 ^a	3,58 ^a
Fibras (%)	8,63 ^b	9,13 ^a
Insolúvel	8,49 ^a	8,82 ^a
Solúvel	0,14 ^b	0,31 ^a
Carboidrato (%)*	79,05 ^a	77,59 ^b
Valor calórico (kcal)	436,9	437,29

*calculado por diferença

Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme Tabela 4 os dois tipos de barras alimentícias analisados se diferenciaram estatisticamente ao nível de 5% de significância para todos os componentes. Os teores elevados de proteína e fibra alimentar presente nas barras com torta de gergelim provavelmente deve ser explicado pela elevada concentração destes na matéria-prima torta de gergelim, que se concentra com a retirada do óleo.

Barra de cereais à base de proteína de soja texturizada, gérmen de trigo e aveia, enriquecida de ácido ascórbico e acetato de α -tocoferol, estudada por

Freitas & Moretti (2006), apresentou, em média, 15,31% de proteína e 2,2% de cinzas, teores superiores aos encontrados neste estudo. Assim como barra de cereais contendo gérmen de trigo, aveia e nozes, manufaturadas por Estévez et al. (1995) que apresentaram 16,5% de proteína e 2,2% de cinzas. Já o teor de fibra apresentada por esses autores foram menores, pois encontraram 5,17% e 3,3% de fibras, respectivamente. Apesar de não ser um “nutriente”, a fibra alimentar é um componente muito importante da nossa alimentação. Esta importância advém do fato dela atravessar o nosso organismo sem ser absorvida e proporcionar benefícios a nossa saúde, como a prevenção da constipação intestinal, melhoria dos níveis de glicemia e do perfil lipídico no sangue, além de aumentar o volume da dieta, saciando a fome sem acrescentar calorias, contribuindo desta forma, para o controle de peso.

As barras alimentícias contendo tanto torta de gergelim como gergelim integral podem ser rotuladas com o claim “alto teor de fibras”, pois a legislação brasileira define produtos sólidos com “alto teor de fibras” aqueles que contém no mínimo 6 g de fibra alimentar por 100 g de produto e “fonte de fibras” quando contém no mínimo 3 g de fibra alimentar por 100 g de produto (Anvisa, 1998).

O teor de proteína foi considerável em relação aos produtos encontrados no mercado, que apresentam em média valores de 4,4% de proteína, assim como o teor de fibra e carboidrato que são, em média, 4,0 e 74,0%, respectivamente. O conteúdo de lipídeos apresentou-se satisfatório também em relação aos produtos convencionais, que apresentam teores de 4,0 a 12,0%.

Os valores médios de lipídeos das barras alimentícias analisadas variaram de 10,53% a 10,73% (Tabela 4), os quais são importantes fontes de ácidos graxos poliinsaturados. Embora não tenham sido analisado os teores de ácidos graxos essenciais, sabe-se que o gergelim é uma oleaginosa rica em

ácidos oléico e linoléico, provavelmente, estes ácidos graxos podem estar presentes nas barras alimentícias elaboradas neste estudo.

As barras alimentícias apresentaram valores próximos ao encontrados por Brito et al. (2004) em estudos sobre barras de cereais caseiras à base de biscoito de amido de milho, flocos de arroz e de aveia, uva passas e damasco, que apresentaram valores de 7,63% de umidade, 6,27% de proteína e 80,85% de carboidratos, teores de lipídeos e cinzas foram mais baixos.

As barras foram submetidas à análise de cor instrumental e seus resultados podem ser vistos na Tabela 5. Pode-se verificar que as barras apresentaram-se claras, pois obtiveram valores altos para L*, na qual define a claridade da cor entre zero, que indica cor totalmente preta ou ausência de cor, e cem, totalmente branca ou cor alva; tendo a barra elaborada com torta valores de L* mais elevados do que contendo gergelim integral.

TABELA 5 Características físico-químicas das barras alimentícias contendo flocos de arroz, soja e gergelim.

Tratamentos	Cor			pH	Acidez	SST* (Brix)	Aw**
	L	a	b				
BAGI15%	61,08 ^b	3,55 ^a	17,98 ^a	4,10 ^a	5,90 ^a	63 ^a	0,47 ^a
BATG20%	65,44 ^a	2,99 ^a	20,48 ^a	3,90 ^a	5,89 ^a	67 ^a	0,47 ^a

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Sólidos solúveis totais

**Atividade de água

As barras alimentícias não diferenciaram-se em relação ao croma a* e b*, pH, acidez sólidos solúveis e atividade de água, mostrando que o processamento de obtenção das barras foi homogêneo. Entretanto, diferenciaram-se quanto à intensidade de luz (L), mostrando que as barras

contendo flocos com gergelim integral apresentaram-se mais escuras do que as contendo flocos de torta de gergelim.

Apesar de não terem se diferenciado significativamente, os valores encontrados para a cor a^* , que varia do verde ao vermelho (-60 a +60), indicam que a BAGI15% obteve levemente mais pigmentos vermelhos do que a BATG20%. Já para a coloração que vai do azul (-60) ao amarelo (+60), representado pela letra b^* , a BATG20% apresentou tons voltados um pouco mais para o amarelo. Assim pode-se relatar que a barra elaborada com flocos extrudados de torta de gergelim apresentou-se um tom de amarelo claro, enquanto que a com flocos de gergelim integral apresentaram uma coloração de amarelo escuro voltado para o vermelho.

De um modo geral, as barras apresentaram valores de SST maiores do que encontrados por Matsura (2005) para barra de cereais com albedo de maracujá (54,6°Brix a 56,1°Brix) e próximos ao encontrado por Paiva (2008) para barras de cereais com resíduos agroindustriais (55°Brix a 65°Brix).

Um dos principais componentes dos alimentos é a água, que exerce uma influência importante na conservação dos alimentos. O termo atividade de água (A_w) foi criado para denominar a água para crescimento microbiano e reações que possam deteriorar o alimento. Os fungos são os microrganismos mais resistentes à diminuição da atividade de água, sendo os principais responsáveis pela deterioração de alimentos na faixa de A_w de 0,61 – 0,70 (Beutchat, 1983). O FDA define a severidade do tratamento térmico em alimentos enlatados com base em sua A_w e em seu pH, onde os valores limite são de 0,85 para A_w e de 4,5 para o pH, abaixo dos quais não existe crescimento de bactérias patogênicas. Desta forma as barras elaboradas provavelmente apresentaram-se estáveis ao crescimento microbiano, encontrando-se dentro dos padrões alimentares, pois obtiveram valores de A_w de 0,47 e pH entre 3,90 a 4,10.

Os valores de pH foram próximos aos relatados por Freitas (2006) em barras de elevado teor protéico e vitamínico (4,84 a 4,91), na determinação pós-processamento no tempo 0; e por Paiva (2008) para barras elaboradas com resíduos agroindustriais (4,58 a 4,98). Assim como os valores de A_w que foram abaixo de 0,6.

Quanto à acidez, as barras apresentaram valores muito semelhantes. Para Freitas & Moretti (2006) num estudo com barras de cereais, perceberam que a acidez influenciou sobre a percepção de doçura dos provadores, apresentando uma relação inversa de quanto maior a acidez, menor a sensação de doçura percebida. Assim, pode-se dizer que as barras tiveram um nível bom na percepção de doçura já que sua acidez não foi elevada, ficando próxima da neutralidade.

6 CONCLUSÃO

A utilização do mapa de preferência externo permitiu identificar as características sensoriais que dirigiram a preferência dos consumidores, apontando a barra elaborada com 15% de gergelim integral nos flocos extrudados de arroz e soja como a preferida e com maior intenção de compra seguida pela barra alimentícia contendo 20% de torta de gergelim nos flocos extrudados, destacando-se o atributo textura como um fator importante para a maioria dos participantes

De acordo com os resultados das análises físico-químicas verificou-se que as barras elaboradas com flocos de arroz, soja e gergelim integral ou torta de gergelim apresentaram alto teor de fibra alimentar, podendo ser intituladas como fontes de fibras. Os baixos valores de atividade de água e pH mostraram que as barras encontram-se dentro da faixa de segurança podendo ser consideradas estáveis quanto ao crescimento de microrganismos patogênicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16. ed. Washington, 1997. v. 2.

BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Gergelimcultura no trópico semi-árido nordestino**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1994. 52p. (Circular Técnica, 18).

BEUCHAT, L. R. Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeast's and molds. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 46, n. 2, p. 135-141, 1983.

BRITO, I. P.; CAMPOS, J. M.; SOUZA, T. F. L.; WAKIYAMA, C.; AZEREDO, G. A. Elaboração e avaliação global de barra de cereais caseira. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 35-30, jan./jun. 2004.

BRODY, T. **Nutritional biochemistry**. London: Academic, 1994. 658p.

COELHO, K. D. **Desenvolvimento e avaliação da aceitação de cereais matinais e barras de cereais à base de Amarantho (*Amaranthus cruentus* L.)**. 2006. 99p. Dissertação (Mestrado em Faculdade de Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

COSTA, M. L. M.; GONDIM, T. M. S.; ARAÚJO, I. M. S.; MILANI, M.; SOUSA, J. S.; FEITOSA, R. M. Características Físico-químicas de Sementes de Genótipos de Gergelim. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 867-869, jul. 2007. Suplemento 1.

CRUZ, O. A.; HEDRICK, H. B. Utilization of defatted sesame flour in fermented salami. **Journal of Food and Agriculture**, Helsinki, v. 50, p. 557-564, 1981.

DENCH, J. E.; RIVAS, N.; CAYGILL, J. C. Selected functional properties of sesame (s.i.) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 32, n. 6, p. 557-564, June 1981.

ESTÉVEZ, A.M.; ESCOBAR, B.; VÁZQUEZ, M.; CASTILLO, E.; ARAYA, E.; ZACARÍAS, I. Cereal and nut bars, nutritional quality and storage stability. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 47, n. 4, p. 309-317, June 1995.

FREITAS, D. G. C. **Desenvolvimento e estudo da estabilidade de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico**. 2005. 161p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FREITAS, D. G. C. MORETTI, R. H. Caracterização e avaliação sensorial de barra de cereais funcional de alto teor protéico e vitamínico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 318-324, abr./jun. 2006.

GOMES, C. R.; MONTENEGRO, F. M. **Curso de tecnologia de barras de cereais**. Campinas: ITAL, 2006.

MAIA, G. A.; CALVETE, Y. M. A.; TELLES, F. J. S.; MONTEIRO, J. C. S.; SALES, M. G. Eficiência da farinha desengordurada de gergelim como complemento protéico da farinha extrudada de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1295-1303, jul. 1999.

MATSUURA, F. C. A. U. **Estudo do albedo de maracujá e seu aproveitamento em barras de cereais**. 2005. 138p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MUÑOZ, A. M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation in quality control**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 240 p.

PAIVA, A. P. **Estudo tecnológico, químico, físico-químico e sensorial de barras alimentícias elaboradas com subprodutos e resíduos agroindustriais**. 2008. 131p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEREIRA, G. M.; MELO, H. N. S.; ANDRADE, C. O.; SILVA, D. A. Viabilidade de reuso de águas residuárias tratadas no cultivo de gergelim (*Sesamum indicum* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003. CD-ROM.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2004. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 dez. 2009.

SCHLICH, P. Preference mapping: relating consumer preferences to sensory or instrumental measurements. In: ETIEVANT, P.; SHEREIER, P. **Bioflavour 95: analysis/ precursor studies/biotechnology**. 2. ed. Orlando: Flórida Academic, 1995. p. 231–245.

SIGMA CHEMICAL. **Total dietary fiber assay kit**. Saint Louis, 2000. (Technical Bulletin, TDFAB-3).

STONE, H.; SIDEL, J. **Sensory evaluation practices**. New York: Academic, 1993. 338p.

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A Análise de variância para o índice de expansão volumétrica (IEV) dos extrudados expandidos	148
TABELA 2A Análise de variância da densidade aparente dos <i>snacks</i> contendo gergelim (grão e torta).....	148
TABELA 3A Análise de variância da densidade absoluta dos <i>snacks</i> contendo gergelim (grão e torta).....	149
TABELA 4A Análise de variância do volume total de poros das farinhas dos <i>Snacks</i> contendo gergelim.	149
TABELA 5A Análise de variância do parâmetro L* dos <i>snacks</i> contendo gergelim integral e torta de gergelim	149
TABELA 6A Análise de variância da textura do <i>Snacks</i> contendo arroz, soja e gergelim.....	150
TABELA 7A Análise de variância do índice de solubilidade em água dos extrudados expandidos de gergelim integral e torta de gergelim	150
TABELA 8A Análise de variância do índice de absorção de água dos <i>snacks</i> contendo gergelim.....	150

TABELA 1A Análise de variância para o índice de expansão volumétrica (IEV) dos extrudados expandidos

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	237,9195	237,9195	10,978	0,0053
Dose	3	3164,0225	1054,6741	48,665	0,0000
Substrato*Dose	3	40,9181	13,6393	0,629	0,6275
Adic	1	2312,9048	2312,9048	106,723	0,0000
Erro	18	390,0984	21,6721		
Total corrigido	26	6145,8635			
CV (%) =	18,36				
Média geral:	26,0827		Número de observações:	24	

TABELA 2A Análise de variância da densidade aparente dos *snacks* contendo gergelim (grão e torta)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	0,0975	0,0975	25,029	0,0002
Dose	3	0,3606	0,1202	30,849	0,0000
Substrato*Dose	3	0,1794	0,0598	15,351	0,0001
Adic	1	0,0526	0,0526	13,509	0,0017
Erro	18	0,0701	0,0038		
Total corrigido	26	0,7604			
CV (%) =	34,90				
Média geral:	0,1881		Número de observações:	24	

TABELA 3A Análise de variância da densidade absoluta dos *snacks* contendo gergelim (grão e torta)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	0,0084	0,0084	58,597	0,0000
Dose	3	0,0035	0,0011	8,132	0,0011
Substrato*Dose	3	0,0010	0,0003	2,347	0,0938
Adic	1	0,0030	0,0030	21,097	0,0002
Erro	18	0,0026	0,0001		
Total corrigido	26	0,0186			
CV (%) =	0,8				
Média geral:	1,449		Número de observações:	24	

TABELA 4A Análise de variância do volume total de poros das farinhas dos *snacks* contendo gergelim.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	86,868	86,868	9,521	0,0087
Dose	3	371,705	123,902	13,579	0,0002
Substrato*Dose	3	27,198	9,066	0,994	0,4476
Adic	1	209,726	209,726	22,985	0,0001
Erro	18	164,238	9,124		
Total corrigido	26	859,736			
CV (%) =	15,27				
Média geral:	20,40		Número de observações:	24	

TABELA 5A Análise de variância do parâmetro L* dos *snacks* contendo gergelim integral e torta de gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	0,242	0,242	0,194	0,683
Dose	3	90,808	30,269	24,300	0,000
Substrato*Dose	3	24,076	8,025	6,443	0,007
Adic	1	0,295	0,295	0,237	0,6321
Erro	18	22,421	1,245		
Total corrigido	26	137,844			
CV (%) =	1,37				
Média geral:	86,447		Número de observações:	24	

TABELA 6A Análise de variância da textura do *Snacks* contendo arroz, soja e gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	3,4945	3,4845	0,116	0,7470
Dose	3	397,0537	132,3512	4,397	0,0249
Substrato*Dose	3	110,3231	36,7743	1,222	0,3651
Adic	1	18,2141	18,2841	0,607	0,4459
Erro	18	541,8723	30,1040		
Total corrigido	26	1071,0279			
CV (%) =	32,65				
Média geral:	17,4378		Número de observações:	24	

TABELA 7A Análise de variância do índice de solubilidade em água dos extrudados expandidos de gergelim integral e torta de gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	117,042	117,041	45,298	0,0000
Dose	3	8,799	2,933	1,135	0,1078
Substrato*Dose	3	11,798	3,933	1,522	0,0520
Adic	1	101,161	101,161	39,152	0,0000
Erro	18	46,509	2,584		
Total corrigido	26	285,308			
CV (%) =	13,23				
Média geral:	8,45		Número de observações:	24	

TABELA 8A Análise de variância do índice de absorção de água dos *snacks* contendo gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	7,315	7,315	14,165	0,0006
Dose	3	4,451	1,484	2,873	0,0353
Substrato*Dose	3	1,314	0,438	0,848	0,3866
Adic	1	0,648	0,648	1,255	0,2774
Erro	18	9,295	0,516		
Total corrigido	26	23,024			
CV (%) =	10,77				
Média geral:	5,917		Número de observações:	24	

ANEXO B	Página
TABELA 1B Análise de variância da proteína dos <i>snacks</i> contendo gergelim	152
TABELA 2B Análise de variância de lipídeos dos <i>snacks</i> contendo gergelim	152
TABELA 3B Análise de variância de cinzas dos <i>snacks</i> contendo gergelim	152
TABELA 4B Análise de variância de fibra dos <i>snacks</i> contendo gergelim	153
TABELA 5B Análise de variância de carboidrato dos <i>snacks</i> contendo gergelim	153
TABELA 6B Análise de variância do teor de glicina encontrado nos <i>snacks</i> contendo gergelim	153
TABELA 7B Análise de variância do teor de arginina encontrado nos <i>snacks</i> contendo gergelim	154
TABELA 8B Análise de variância do teor de fenilalanina encontrado nos <i>snacks</i> contendo gergelim	154
TABELA 9B Análise de variância do teor de tirosina encontrado nos <i>snacks</i> contendo gergelim	154

TABELA 1B Análise de variância da proteína dos *snacks* contendo gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	1,612	1,612	46,116	0,0000
Dose	3	32,704	10,901	311,868	0,0000
Substrato*Dose	3	0,752	0,251	7,177	0,0002
Adic	1	42,347	42,347	1211,445	0,0000
Erro	18	0,629	0,349		
Total corrigido	26	78,046			
CV (%) =	0,93				
Média geral:	15,778		Número de observações:	24	

TABELA 2B Análise de variância de lipídeos dos *snacks* contendo gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	95,920	95,920	1466,824	0,0000
Dose	3	47,085	15,695	240,013	0,0000
Substrato*Dose	3	28,197	9,399	143,732	0,0000
Adic	1	15,488	15,488	236,849	0,0000
Erro	18	1,177	0,065		
Total corrigido	26	187,868			
CV (%) =	10,44				
Média geral:	2,593		Número de observações:	24	

TABELA 3B Análise de variância de cinzas dos *snacks* contendo gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	0,123	0,123	126,040	0,0000
Dose	3	0,597	0,199	203,419	0,0000
Substrato*Dose	3	0,058	0,019	19,803	0,0000
Adic	1	0,308	0,308	315,201	0,0000
Erro	18	0,176	0,001		
Total corrigido	26	1,104			
CV (%) =	4,95				
Média geral:	0,670		Número de observações:	24	

TABELA 4B Análise de variância de fibra dos *snacks* contendo gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	5,713	5,713	313,034	0,0000
Dose	3	0,517	0,172	9,452	0,0014
Substrato*Dose	3	0,169	0,056	3,085	0,0766
Adic	1	2,629	2,629	144,041	0,0000
Erro	18	0,328	0,018		
Total corrigido	26	9,357			
CV (%) =	4,46				
Média geral:	3,203		Número de observações:	24	

TABELA 5B Análise de variância de carboidrato dos *snacks* contendo gergelim

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	33,417	33,417	251,555	0,0000
Dose	3	196,278	65,426	492,505	0,0014
Substrato*Dose	3	15,038	5,013	37,734	0,0766
Adic	1	159,135	159,135	1197,909	0,0000
Erro	18	2,391	0,133		
Total corrigido	26	406,261			
CV (%) =	0,46				
Média geral:	77,755		Número de observações:	24	

TABELA 6B Análise de variância do teor de glicina encontrado nos *snacks* contendo gergelim.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	0,0003	0,0002	0,848	0,3963
Dose	3	0,0062	0,0021	5,881	0,0233
Substrato*Dose	3	0,0038	0,0012	3,526	0,0767
Adic	1	0,0057	0,0057	15,931	0,0032
Erro	9	0,0032	0,0003		
Total corrigido	17	0,0194			
CV (%) =	6,36				
Média geral:	0,3068		Número de observações:	16	

TABELA 7B Análise de variância do teor de arginina encontrado nos *snacks* contendo gergelim.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	0,0001	0,0001	0,105	0,7570
Dose	3	0,0506	0,0168	17,643	0,0007
Substrato*Dose	3	0,0178	0,0059	6,206	0,0184
Adic	1	0,0529	0,0529	55,335	0,0000
Erro	9	0,0086	0,0009		
Total corrigido	17	0,1300			
CV (%) =	5,02				
Média geral:	0,6225		Número de observações:	16	

TABELA 8B Análise de variância do teor de fenilalanina encontrado nos *snacks* contendo gergelim.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	0,0007	0,0007	2,000	0,2159
Dose	3	0,0060	0,0020	5,352	0,0333
Substrato*Dose	3	0,0054	0,0018	4,823	0,0427
Adic	1	0,0105	0,0105	27,794	0,0005
Erro	9	0,0034	0,0003		
Total corrigido	17	0,0262			
CV (%) =	4,43				
Média geral:	0,4618		Número de observações:	16	

TABELA 9B Análise de variância do teor de tirosina encontrado nos *snacks* contendo gergelim.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Substrato	1	0,0014	0,0014	6,034	0,0472
Dose	3	0,0037	0,0012	5,322	0,0332
Substrato*Dose	3	0,0023	0,0007	3,391	0,0902
Adic	1	0,0031	0,0031	13,378	0,0053
Erro	9	0,0021	0,0002		
Total corrigido	17	0,0127			
CV (%) =	5,39				
Média geral:	0,2968		Número de observações:	16	

ANEXO C	Página
FIGURA 1C Variação do conteúdo de proteína (%) dos <i>snacks</i> contendo gergelim integral.....	157
FIGURA 2C Variação do conteúdo de proteína (%) dos <i>snacks</i> contendo torta de gergelim.	157
FIGURA 3C Variação do teor de lipídeo (%) nos <i>snacks</i> contendo gergelim integral.....	158
FIGURA 4C Variação do teor de lipídeos (%) dos <i>snacks</i> contendo torta de gergelim.	158
FIGURA 5C Variação do teor de cinzas (%) dos <i>snacks</i> contendo gergelim integral.....	159
FIGURA 6C Variação do teor de cinzas (%) dos <i>snacks</i> contendo torta de gergelim.	159
FIGURA 7C Variação do teor de fibra (%) de acordo com a adição de gergelim nos <i>snacks</i> expandidos.....	160
FIGURA 8C Variação da quantidade de carboidrato (%) presente nos <i>snacks</i> adicionados de gergelim integral.....	160
FIGURA 9C Variação da quantidade de carboidrato (%) presente nos <i>snacks</i> adicionados de torta de gergelim.....	161
FIGURA 10C Variação do teor de glicina (%) conforme o aumento das doses de gergelim.....	161
FIGURA 11C Variação do teor de arginina (%) conforme o aumento das doses de gergelim integral	162
FIGURA 12C Variação do teor de arginina (%) conforme o aumento das doses de torta de gergelim	162
FIGURA 13C Variação do teor de fenilalanina (%) conforme o aumento das doses de gergelim integral	163

FIGURA 14C Variação do teor de fenilalanina (%) conforme o aumento das doses de torta de gergelim	163
FIGURA 15C Variação do teor de tirosina (%) conforme o aumento das doses de gergelim.....	164
FIGURA 1D Ficha de avaliação sensorial.....	166

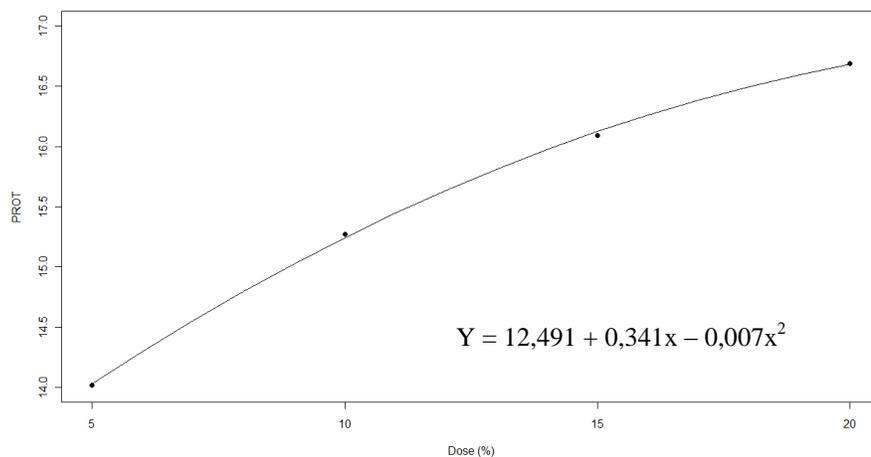


FIGURA 1C Variação do conteúdo de proteína (%) dos *snacks* contendo gergelim integral.

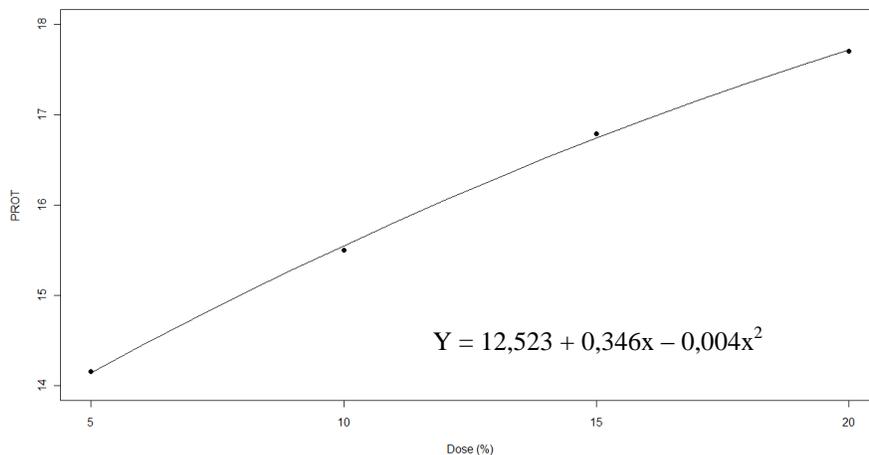


FIGURA 2C Variação do conteúdo de proteína (%) dos *snacks* contendo torta de gergelim.

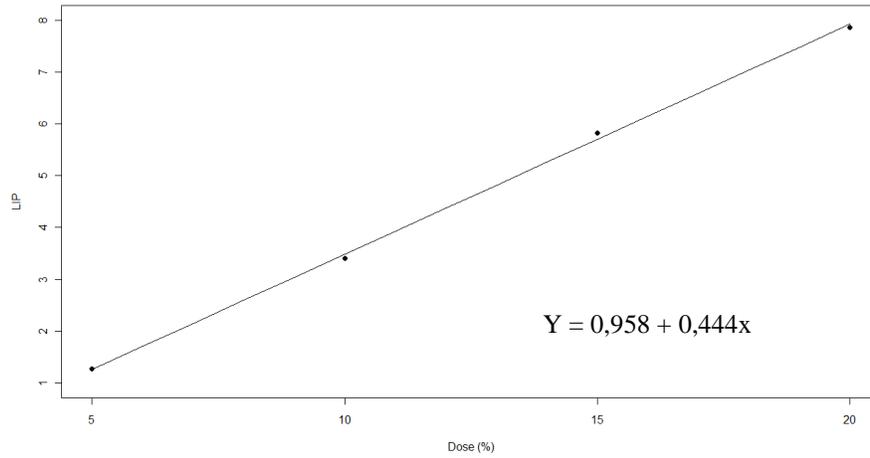


FIGURA 3C Variação do teor de lipídeo (%) nos *snacks* contendo gergelim integral

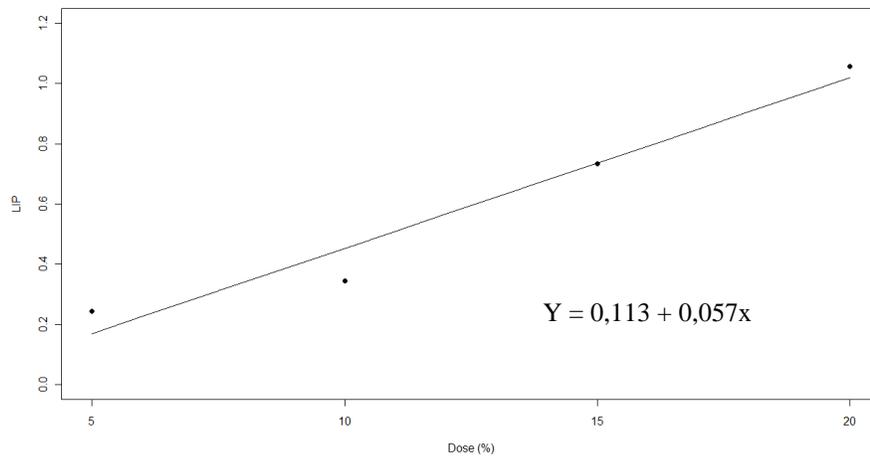


FIGURA 4C Variação do teor de lipídeos (%) dos *snacks* contendo torta de gergelim.

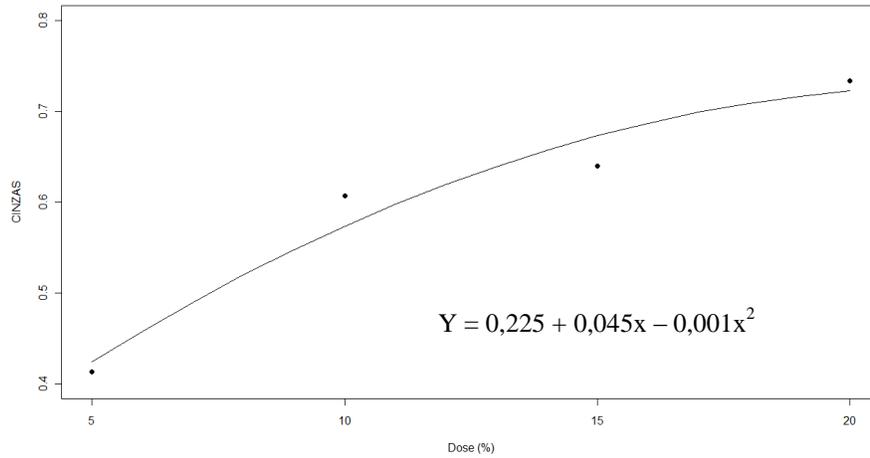


FIGURA 5C Variação do teor de cinzas (%) dos *snacks* contendo gergelim integral.

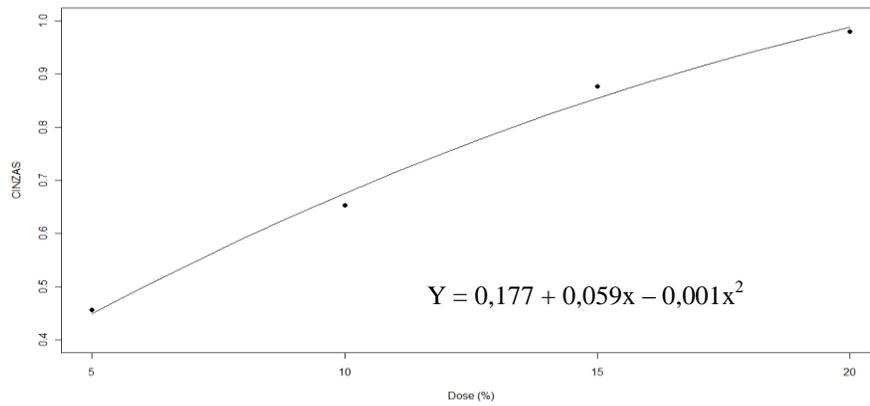


FIGURA 6C Variação do teor de cinzas (%) dos *snacks* contendo torta de gergelim.

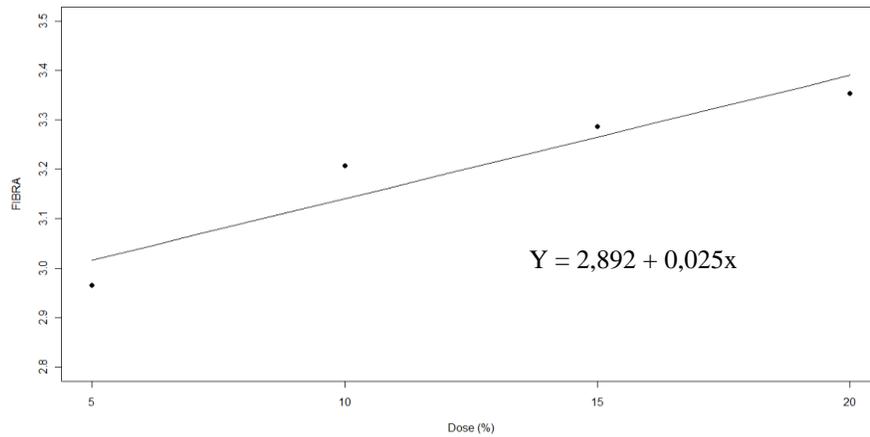


FIGURA 7C Variação do teor de fibra (%) de acordo com a adição de gergelim nos *snacks* expandidos.

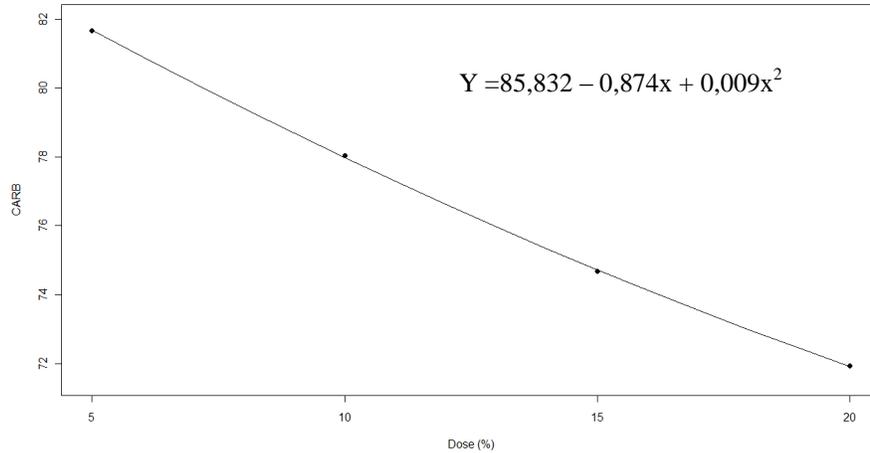


FIGURA 8C Variação da quantidade de carboidrato (%) presente nos *snacks* adicionados de gergelim integral.

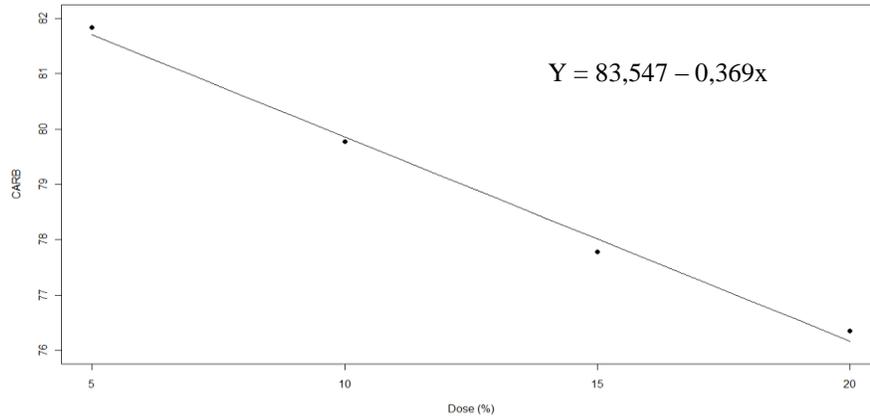


FIGURA 9C Variação da quantidade de carboidrato (%) presente nos *snacks* adicionados de torta de gergelim

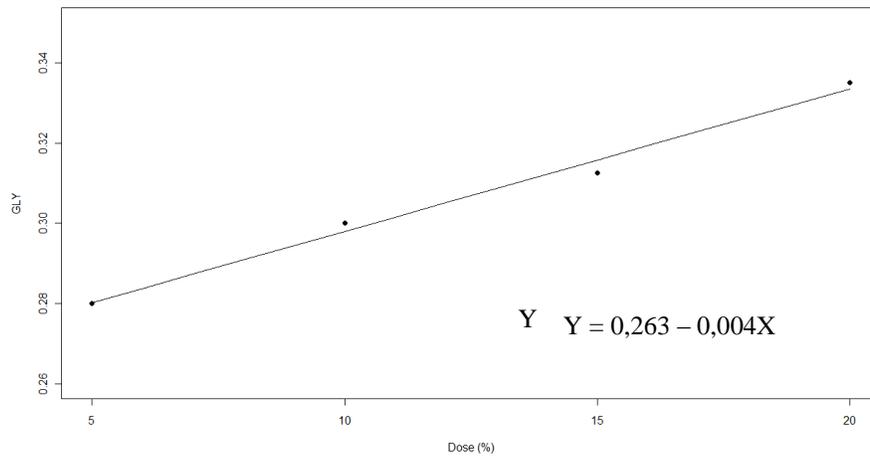


FIGURA 10C Variação do teor de glicina (%) conforme o aumento das doses de gergelim.

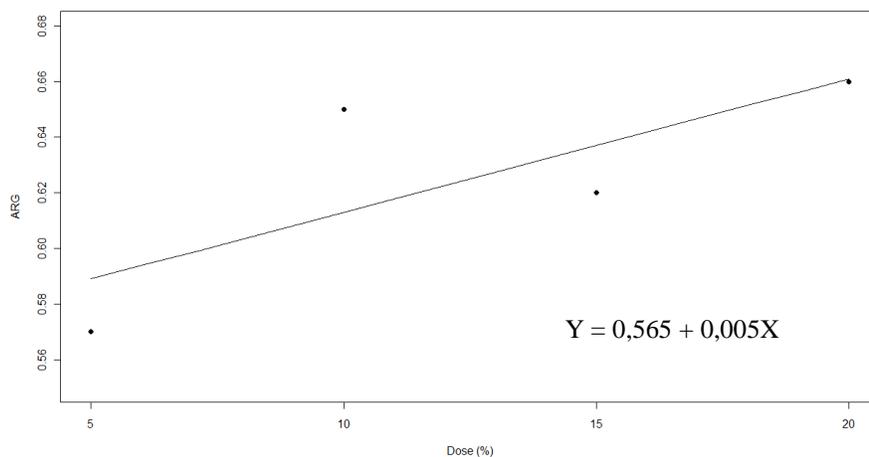


FIGURA 11C Variação do teor de arginina (%) conforme o aumento das doses de gergelim integral

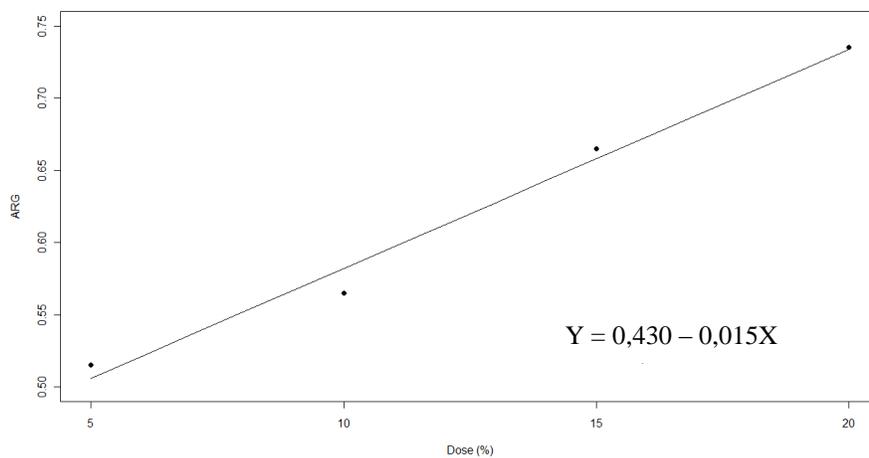


FIGURA 12C Variação do teor de arginina (%) conforme o aumento das doses de torta de gergelim

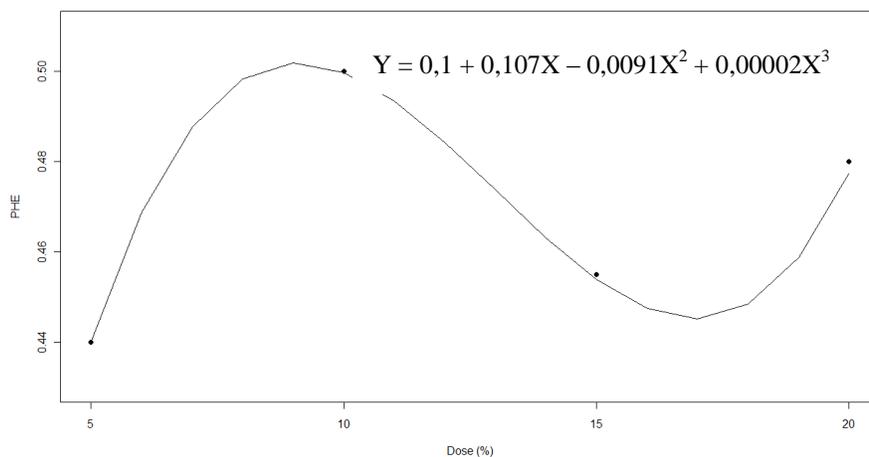


FIGURA 13C Variação do teor de fenilalanina (%) conforme o aumento das doses de gergelim integral

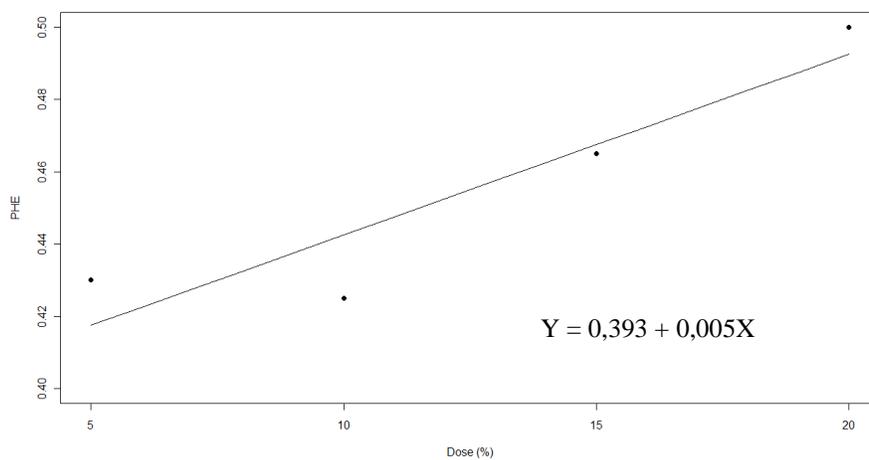


FIGURA 14C Variação do teor de fenilalanina (%) conforme o aumento das doses de torta de gergelim

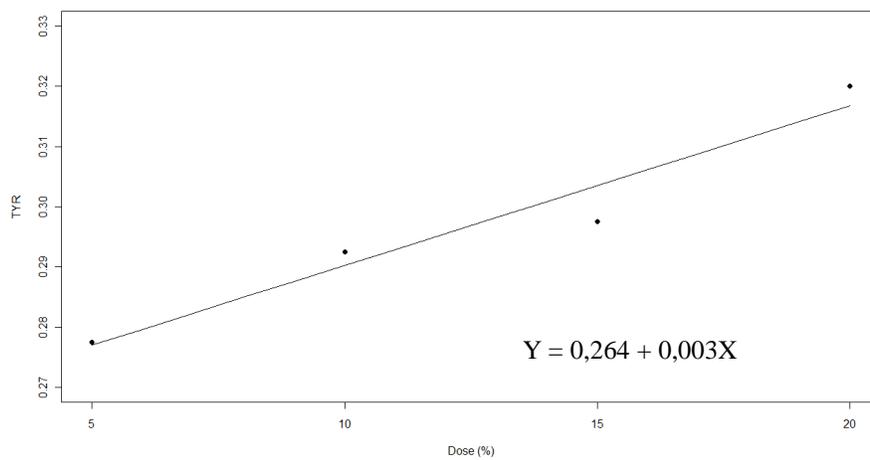


FIGURA 15C Variação do teor de tirosina (%) conforme o aumento das doses de gergelim.

ANEXO D	Página
FIGURA 1D Ficha de avaliação sensorial.....	166

Nome: _____ Data: ___/___/___ Sexo: () F () M

Faixa etária: () 16 a 25 anos; () 26 a 45 anos, () 46 a 60 anos, () mais que 60 anos

Avalie as amostras da esquerda para a direita e indique, utilizando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou de cada amostra.

	N ° Amostra	Nota Aparência	Nota Sabor	Nota Textura	Nota Aspecto global
1- Desgostei muitíssimo					
2- Desgostei muito					
3- Desgostei regularmente	_____	_____	_____	_____	_____
4- Desgostei ligeiramente	_____	_____	_____	_____	_____
5- Indiferente	_____	_____	_____	_____	_____
6- Gostei ligeiramente	_____	_____	_____	_____	_____
7- Gostei regularmente	_____	_____	_____	_____	_____
8- Gostei muito	_____	_____	_____	_____	_____
9- Gostei muitíssimo					

Agora, indique qual das amostras apresentadas você mais prefere: _____

Com base na sua opinião sobre as amostras, indique na escala de 1 a 5 sua nota em relação a intenção de compra:

5 - Certamente compraria				
4 – Possivelmente compraria	Amostra	_____	_____	_____
3 – Talvez comprasse/Talvez não comprasse				
2 – Possivelmente não compraria	Nota	_____	_____	_____
1 – Certamente não compraria				

Comentários: _____

FIGURA 1D Ficha de avaliação sensorial