



ANTONIA DE MARIA BORGES

**EXTRUDADOS NÃO EXPANDIDOS DIRETOS
DE ARROZ E DE MILHO ADICIONADOS DE
GERGELIM**

LAVRAS – MG

2012

ANTONIA DE MARIA BORGES

**EXTRUDADOS NÃO EXPANDIDOS DIRETOS DE ARROZ E DE
MILHO ADICIONADOS DE GERGELIM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Orientadora

Dra. Joelma Pereira

Coorientador

Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

LAVRAS-MG

2012

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

Borges, Antônia de Maria.

Extrudados não expandidos diretos de arroz e de milho
adicionados de gergelim / Antônia de Maria Borges. – Lavras :
UFLA, 2012.

258 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Joelma Pereira.

Bibliografia.

1. Gergelim. 2. Extrusão termoplástica. 3. Características
químicas. 4. Extrudados enriquecidos. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 664.726

ANTONIA DE MARIA BORGES

**EXTRUDADOS NÃO EXPANDIDOS DIRETOS DE ARROZ E DE
MILHO ADICIONADOS DE GERGELIM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 30 de outubro de 2012.

Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho	Embrapa-RJ
DR. Augusto Ramalho de Moraes	UFLA
Dra. Kelen Cristina dos Reis	UFLA
Dr. José Guilherme Lembi Ferreira Alves	UFLA

Dra. Joelma Pereira
Orientadora

LAVRAS-MG
2012

OFEREÇO

A Deus, autor e Senhor de toda a história.

Aos meus adoráveis sobrinhos, Robson Giulliano e João Pedro.

A todos que fazem a UFLA.

À Diretoria da Faculdade de Tecnologia – FATEC, de Fortaleza, CE.

DEDICO

Aos meus pais,

Sebastião Borges e

Maria Rodrigues Veras Borges.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela realização deste trabalho.

À casa das sete mulheres, minhas irmãs (Dóris, Fátima, Adriana, Ana, Cléo e Cida), pela união e apoio constante.

Aos meus gentis e acolhedores cunhados, Antonio Gomes e Antonio Carlos.

Ao meu grande e fiel amigo Rafael Lima, por sempre estar comigo nas alegrias e nas tristezas.

À Faculdade de Tecnologia (FATEC-CE), pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho. Em especial, à diretora Dra. Geórgia Aguiar (FATEC/Sede).

À professora Miriam Brasil (FATEC-CE), pelo apoio e incentivo.

Ao conselheiro Antenor Silva Junior, da diretoria da FATEC/Sede-CE).

Aos meus amigos Helena, Karisia, Jairo e Maria Lúcia (FATEC-Sede Fortaleza, CE), pelo acolhimento e informações constante.

Ao Dr. Eliseu Marlonio Lucena de Pereira (Universidade Estadual do Ceará), pela amizade, apoio técnico e incentivo à realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências dos Alimentos, pelo apoio e formação acadêmica.

A minha querida orientadora, Joelma Pereira, pelo amor e dedicação em todas as horas.

Aos professores João de Deus e Ana Carla (DCA/UFLA), pelas sugestões na parte de análise sensorial.

Ao professor Augusto Ramalho (DEX/UFLA), pelas brilhantes orientações na área de estatística.

Em especial, a Constantina (Tina), do Laboratório de Análise de Alimentos, pela grandeza de seu amor e sempre tão disponível, não só amiga, mas uma mãe.

A Flávia, por estar sempre tão disponível.

Ao seu Miguel (*in memoriam*), um anjo sempre ali conosco.

A Lucilene, sempre tão atenciosa e simpática.

A Adriana e a Rhaimá, por sua atenção e disponibilidade.

A minha amiga, Dra. Heloisa Helena Siqueira, pela amizade e apoio constante nas análises.

Ao meu tão querido amigo Renato Leal, doutorando em Ciências dos Alimentos.

Agradeço às grandes amigas, Elisangela, Rose e Silvia, pela amizade sincera nos momentos mais difíceis.

A todos os pimpolhos da área de Cereais: Janyelle, Fausto, Carine, João, Lorena, Rauzinho, Giselinha, Débora e aos demais.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, pela realização deste trabalho.

Ao meu adorável coorientador, Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, por seu jeito alegre e bem humorado de ser e suas orientações sábias e enriquecedoras.

Ao Dr. Ascheri, da Embrapa-RJ, por sua liderança tão bem conceituada e sua ação nas horas difíceis.

À Dra. Cristina Takeiti, pelo incentivo e motivação na realização deste trabalho.

Agradeço em especial à pesquisadora Tatiana de Oliveira (Embrapa-RJ), por sua disponibilidade na Planta de Extrusão e pela realização deste trabalho.

A minha grande amiga, Elisabete do Nascimento (mestranda da Universidade de Rural), por sua ajuda e sugestões para a realização deste trabalho.

Aos estagiários da Embrapa-RJ (Rômulo, Fábio, Caion e Gustavo),
pelo apoio nas análises.

Às grandes do Laboratório de Reologia Embrapa-RJ, Vanessa e
Adriana.

Aos grandes técnicos da planta piloto de extrusão termoplástica, Davi
e Sr.Francisco, sempre tão atentos às nossas necessidades.

A todos que fazem a Embrapa-RJ.

A minha grande amiga, Marlene Barros, por seu carinho e incentivo.

Enfim, a todos que estiveram comigo nesses quatro anos de luta e
dedicação, agradeço pela realização do doutorado.

"Há máquinas de felicidade dispendiosa que funcionam com enorme desperdício, e há outras econômicas que, com as migalhas da sorte, criam alegria para uma existência inteira".

Joaquim Nabuco

RESUMO

A busca por produtos de alto valor nutritivo e de baixo preço tem crescido no mercado consumidor. As sementes de gergelim e a torta obtida a partir das sementes têm sido ótimas alternativas para balancear formulações e contribuir para melhorar a alimentação humana, devido ao seu elevado teor proteico, lipídico, de fibra alimentar e de minerais, entre os quais se destaca o cálcio, obtido na torta de gergelim. A extrusão termoplástica é um processo tecnológico de grande versatilidade, de alta produtividade, simples, de baixo custo e que promove excelentes condições para misturar ingredientes para a obtenção de produtos extrudados a partir de fontes amiláceas. Este trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver extrudados não expandidos diretos (*pellets*) à base de grits de arroz e grits de milho adicionados de gergelim em grão e torta de gergelim desengordurada. Para a execução do projeto foram propostos quatro delineamentos estatísticos, em metodologia de superfície de resposta, do tipo composto central rotacional de 2ª ordem com 52 tratamentos. Analisou-se a influência da umidade (24,93% a 39,07%) do gergelim (0,092% a 24,93%) e da torta desengordurada (0,01% a 34,99%) numa extrusora de rosca simples marca Brabender (Duisburg, Alemanha). As variáveis respostas foram vazão, índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção em água (IAA), densidade absoluta (DABS), porosidade (PO), densidade antes da fritura (DAF), densidade pós-fritura (DPF), índice de expansão (IEV), cromaticidade a^* e b^* , diferença de cor (ΔE), textura, viscosidade inicial a 25 °C (VIP), viscosidade máxima (VM), viscosidade de quebra (VQ) e *setback* ou tendência à retrogração. As matérias-primas, assim como os extrudados, foram caracterizados quanto à composição centesimal, minerais e aminoácidos. Os tratamentos foram avaliados quanto à firmeza em texturômetro. Sensorialmente, os extrudados foram avaliados quanto a aparência, sabor, textura, aspecto global e intenção de compra, pelo teste de aceitação. Os resultados da caracterização química indicaram que o gergelim em grão (GG) e a torta de gergelim desengordurada (TGD) apresentam vantagens em relação ao grits de milho (GM) e ao *grits* de arroz (GA), tais como maiores teores proteico, lipídico e de fibra alimentar. O acréscimo de gergelim em grão e da torta de gergelim desengordurada influenciou as características sensoriais para a melhor qualidade dos extrudados. As variáveis independentes contribuíram para a obtenção de maiores valores da vazão, maior índice de solubilidade em água, menor índice de absorção em água, menor densidade absoluta, menor densidade aparente antes da fritura, menor densidade pós-fritura, maior índice de expansão, maior cromaticidade a^* , maior cromaticidade b^* e menor diferença de cor. Também se destacaram com maiores valores da textura em relação ao trabalho de crocância nos extrudados de grits de arroz e adição de gergelim em grão. Nos extrudados de grits de milho e extrudados de grits de arroz, as variáveis influenciaram os parâmetros força de compressão (FC) e força resultante (FR), mostrando a

crocância dos extrudados. Nenhuma das variáveis independentes contribuíram significativamente para os valores da variável resposta porosidade (Po). Contudo, influenciaram para menores valores do *breackdown* e *setback* nos extrudados de grits de milho (EGM), grits de arroz (EGA) e gergelim e contribuíram para maior viscosidade inicial de pasta a 25 °C, maior viscosidade máxima, menor *breckdown* e menor *setback* nos extrudados de grits de milho, extrudados de grits de arroz e adição de torta de gergelim desengordurada. A análise sensorial indicou no teste intenção de compra, que 65% dos provadores comprariam os extrudados obtidos a partir dos tratamentos T1, T21, T26 e T35, como também o T48. Portanto, pode-se dizer que o estudo mostrou-se viável quanto ao processo de extrudados não expandidos diretos com grits de milho e grits de arroz com adição de GG e TGD, com boas características tecnológicas.

Palavras chave: Gergelim. Extrusão termoplástica. Características químicas. Extrudados enriquecidos. Características tecnológicas.

ABSTRACT

The search for products of high nutritional value and low price has grown in the consumer market. Sesame seeds and presscake obtained from seeds, have been a great opportunity to contribute and balance formulations in human food because its high protein content, lipid, dietary fiber and minerals, among which stands out the calcium obtained in sesame presscake. The thermoplastic extrusion process technology is a highly versatile, high productivity, simple, inexpensive and promotes excellent conditions for mixing ingredients for obtaining extruded products from starchy sources. The aim of this study was to develop extruded expanded not direct (pellets) the basis of rice grits and corn grits added sesame grain and defatted sesame presscake. To implement the proposed project were four statistical designs in response surface methodology, central composite rotational 2nd order with 52 treatments. We analyzed the influence of moisture (24.93% to 39.07%) of sesame (0.092% to 24.93%) and defatted presscake (0.01% to 34.99%) in a single screw extruder brand Brabender (Duisburg, Germany). Variables were flow rate, water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), absolute density (DABS), porosity (PO), density before frying (DAF), density post-frying (DPF), expansion index (VFI), a* and b* chromaticity, color difference (ΔE), texture, initial viscosity at 25 ° C (VIP), maximum viscosity (MV), viscosity breaking (VQ) and setback or trend the retrogradation. The raw materials as well as extruded were characterized for proximate composition, minerals and amino acids. The treatments were evaluated for firmness in texturometer. Sensorially the extrudates were evaluated for appearance, flavor, texture, appearance and overall purchase intent for acceptance testing. The results indicated that the chemical sesame grain (GG) and defatted sesame presscake (TGD) have advantages before the corn grits (GM) rice and grits (GA), such as higher protein, lipid dietary fiber. The increase in grain and sesame presscake defatted sesame influenced the sensory characteristics of extruded for better quality. And stand out with higher values of texture to the work of the crispness of extruded rice grits and add sesame grain. While in extruded the independent variables contributed to obtain higher flow rates, higher degree of water solubility, low water absorption index, lower absolute density, low bulk density before frying, post-frying lower density, higher expansion ratio, higher chromaticity a*, chromaticity b*larger and smaller color difference. Corn grits and grits extruded rice variables influenced the parameter settings compression force (CF) and resultant force (FR) showing the crispness of extruded. None of the independent variables contributed significantly to the values of the response variable porosity (Po). However for lower values influenced the breckdown and setback in extruded corn grits (EGM), rice grits (EGA) and sesame. And contributed to higher initial viscosity of pulp at 25 ° C, higher peak viscosity, lower breckdown and lower setback in extruded corn grits, rice grits extruded and

adding defatted cake of sesame. Sensory analysis indicated the test purchase intent than 65% of the tasters would buy the extrudates obtained from the treatments (T1, T21, T26, T35) as well as the T48. Therefore, it can be said that the study was feasible as the process of extruded expanded not direct with corn grits and rice grits with added GG and TGD with good technological characteristics.

Keywords: Sesame. Thermoplastic extrusion. Chemical. Extruded enriched. Technological features.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Funcionamento do extrusor (SANTOS et al., 2004).....	39
Figura 2	Fluxograma de processo dos <i>pellets</i> de grits de milho, de grits de arroz com adição de gergelim em grão ou torta de gergelim desengordurada.....	65
Figura 3	Extrusora 19/20 DN acoplada a um reômetro de torque DCE 330, ambos da marca Brabender (Duisburg, Alemanha), em processamento de milho e de arroz para elaboração de <i>pellets</i>	66
Figura 4	Resultado sensorial da aparência proveniente dos 12 tratamentos.....	92
Figura 5	Resultado sensorial do sabor proveniente de 12 tratamentos.....	93
Figura 6	Resultado sensorial da textura proveniente de 12 tratamentos.....	94
Figura 7	Resultado sensorial do aspecto global proveniente de 12 tratamentos.	96
Figura 8	Ilustra a análise estatística para os escores obtidos para o atributo “intenção de compra” dos <i>pellets</i> proveniente de 12 tratamentos.....	98
Figura 9	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da vazão, dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	108
Figura 10	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do IAA, dos pellets de grits	

	de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	109
Figura 11	Efeito da variável quantitativa gergelim em grão (%) em função do ISA obtido nos <i>pellets</i> com <i>grits</i> de milho com adição de gergelim em grão.....	111
Figura 12	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DABS, dos <i>pellets</i> de grits de arroz com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e de gergelim em grão (%).....	113
Figura 13	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da vazão, dos <i>pellets</i> de grits de arroz com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	117
Figura 14	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DPF, dos <i>pellets</i> de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	118
Figura 15	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do IEV, dos <i>pellets</i> de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	121

Figura 16	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do trabalho de crocância dos pellets de grits de arroz com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	125
Figura 17	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da luminosidade (L^*) dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	128
Figura 18	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da cromaticidade a^* dos pellets de grits de milho com adição de gergelim em grão, em função dos níveis gergelim em grão (%).....	131
Figura 19	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da cromaticidade b^* , dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	133
Figura 20	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da diferença de cor dos pellets de grits de milho e adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).....	135
Figura 21	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do viscosidade de quebra (<i>breakdown</i>) dos pellets de grits de milho com adição de gergelim, em função dos níveis de umidade (%).....	139
Figura 22	Representação gráfica na forma de superfície de	

	resposta do comportamento do <i>setback</i> dos pellets de grits de arroz com adição de gergelim, em função dos níveis de umidade (%).....	141
Figura 23	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da vazão, dos pellets de grits de arroz com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e da TGD (%).....	144
Figura 24	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do IAA dos pellets de grits de milho e adição de TGD em função dos níveis de TGD (%).....	146
Figura 25	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do ISA, dos pellets de grits de arroz com adição de TGD em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).....	148
Figura 26	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DABS, dos pellets de grits de milho com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).....	151
Figura 27	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DAF, dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).....	154
Figura 28	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DPF, dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).....	156
Figura 29	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do IEV, dos pellets de grits	

	de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).....	160
Figura 30	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento força de compressão (FC) dos <i>pellets</i> com <i>grits</i> de arroz e adição de TGD em função do teor de TGD.....	163
Figura 31	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da força de ruptura (fr) dos <i>pellets</i> com <i>grits</i> de milho e adição de tgd em função do teor de tgd.....	164
Figura 32	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da luminosidade (L*), dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).....	168
Figura 33	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da cromaticidade a*, dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).....	170
Figura 34	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da cromaticidade b* dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).....	174
Figura 35	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da diferença de cor dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e	

	TGD (%)......	176
Figura 36	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da viscosidade inicial de pasta a 25°C dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)......	179
Figura 37	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da viscosidade máxima dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)......	181
Figura 38	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do <i>breackdown</i> , dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).	183
Figura 39	Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do <i>setback</i> dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%).	185

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Níveis codificados das variáveis independentes a serem estudadas no processo de elaboração dos extrudados não com gergelim em grão.....	62
Tabela 2	Níveis codificados das variáveis independentes a serem estudadas no processo de elaboração dos extrudados não expandidos com <i>grits</i> de milho e <i>grits</i> de arroz com torta de gergelim desengordurada.....	63
Tabela 3	Quadro de análises que foram efetuadas durante o experimento dos extrudados.....	73
Tabela 4	Valores médios ¹ em g 100g ⁻¹ , da umidade, extrato etéreo, proteína, fibra bruta, fibra alimentar, cinzas, fração glicídica (ENN) e valor calórico das matérias-primas gergelim em grão (GG), torta de gergelim desengordurada (TGD), <i>grits</i> de milho (GM) e <i>grits</i> de arroz (GA).....	75
Tabela 5	Porcentagem de retenção obtida na análise granulométrica das matérias-primas (gergelim em grão (GG), torta de gergelim desengordurada (TGD), <i>grits</i> de milho (GM) e <i>grits</i> de arroz (GA).....	77
Tabela 6	Teores médios ¹ dos macrominerais das matérias-primas (gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, <i>grits</i> de milho e <i>grits</i> de arroz)	79
Tabela 7	Teores médios ¹ dos microminerais do gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, <i>grits</i> de milho e <i>grits</i> de arroz.....	80
Tabela 8	Valores de aminoácidos obtidos das matérias-primas gergelim em grão (GG), da torta de gergelim	

	desengordurada (TGD), do <i>grits</i> de milho (GM) e do <i>grits</i> de arroz (GA) representadas em mg/100g de proteína.....	82
Tabela 9	Valores da composição centesimal obtida dos doze tratamentos dos pellets antes da fritura.....	84
Tabela 10	Valores médios dos macro e microminerais dos 12 tratamentos que foram para análise sensorial.....	88
Tabela 11	Valores médios da composição centesimal dos quatro melhores tratamentos obtidos a partir da análise sensorial.....	99
Tabela 12	Valores médios dos teores de macrominerais e microminerais dos quatro tratamentos dos <i>pellets</i> após análise sensorial.....	103
Tabela 13	Estimativas dos coeficiente de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: vazão, índice de absorção em água e índice de solubilidade em água dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA).....	106
Tabela 14	Estimativas dos coeficiente de regressão e respectivas significâncias para a variável densidade absoluta (DABS) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA).....	112
Tabela 15	Estimativas dos coeficiente de regressão e respectivas significâncias para a variável porosidade (PO) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA).....	114
Tabela 16	Estimativas dos coeficiente de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: densidade antes da fritura (DAF), densidade pós fritura (DPF) e índice de	

	expansão volumétrica (IEV) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA).....	116
Tabela 17	Estimativas dos coeficiente de regressão e respectivas significâncias para a variável índice de expansão volumétrica (IEV) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA).....	120
Tabela 18	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: força de compressão e força de ruptura, exercida pelo texturômetro dos extrudados com <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão após a fritura.....	122
Tabela 19	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: força específica de ruptura e trabalho de rocância exercida pelo texturômetro dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão após a fritura.....	124
Tabela 20	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável luminosidade (L*) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão após a fritura.....	126
Tabela 21	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável cromaticidade a* dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão após a fritura.....	130
Tabela 22	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável cromaticidade b* dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) com adição de gergelim em grão após a fritura...	132

Tabela 23	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável diferença de cor (ΔE) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) com adição de gergelim em grão após a fritura....	134
Tabela 24	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: viscosidade inicial de pasta (VIP) e viscosidade máxima (VMAX) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão antes da fritura....	137
Tabela 25	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: viscosidade de quebra (VQ) e <i>setback</i> dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM); <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão antes da fritura.....	138
Tabela 26	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: vazão, índice de absorção em água e índice de solubilidade em água dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada (TGD).....	143
Tabela 27	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável densidade absoluta (DABS) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada (TGD).....	150
Tabela 28	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável porosidade (P_o) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada	

	(TGD).....	152
Tabela 29	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: densidade antes da fritura (DAF); densidade pós- fritura (DPF) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de torta de gergelm desengordurada (TGD).....	153
Tabela 30	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável: índice de expansão volumétrica (IEV) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de torta de gergelm desengordurada (TGD).....	158
Tabela 31	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: força de compressão e força de ruptura, exercida pelo texturômetro dos extrudados após a fritura com <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada.....	161
Tabela 32	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: força específica de ruptura (FSR) e trabalho de crocância, exercida pelo texturômetro dos extrudados após a fritura com <i>grits</i> de milho (EGM); <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de torta de gergelim desengordurada.....	165
Tabela 33	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis:Luminosidade (L*) dos extrudados após a fritura de <i>grits</i> de milho (EGM); <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de torta de gergelim desengordurada.....	166

Tabela 34	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável cromaticidade a^* dos extrudados após a fritura de <i>grits</i> de milho (EGM); <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de torta de gergelim desengordurada.....	169
Tabela 35	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: cromaticidade b^* e diferença de cor (ΔE) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) com adição de TGD após a fritura.....	172
Tabela 36	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: viscosidade inicial de pasta (VIP) e viscosidade máxima (VMAX) dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) e adição de TGD após a fritura.....	178
Tabela 37	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: viscosidade de quebra (VQ) ou <i>breackdown</i> e <i>setback</i> dos extrudados de <i>grits</i> de milho (EGM) e <i>grits</i> de arroz (EGA) com adição de TGD após a fritura.....	182

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	28
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
2.1	Produtos extrudados não expandidos diretos (<i>pellets</i>).....	30
2.2	Gergelim.....	31
2.3	Grits de milho	33
2.4	Grits de arroz.....	34
2.5	Extrusão termoplástica.....	36
2.6	Fatores que influenciam no processo dos produtos extrudados (pellets).....	40
2.7	Efeito das variáveis no processo de extrusão.....	40
2.7.1	Matéria-prima	41
2.7.2	Adição de água ou umidade.....	41
2.7.3	Formulação.....	42
2.7.4	Configuração do parafuso ou rosca.....	45
2.7.5	Matriz	46
2.7.6	Temperatura do cilindro.....	46
2.8	Grau de cozimento/viscosidade de pasta por RVA.....	47
2.9	Índice de solubilidade em água.....	48
2.10	Índice de absorção em água.....	49
2.11	Distribuição do tamanho de partícula /granuometria.....	50
2.12	Avaliação da qualidade tecnológica dos produtos extrudados não expandidos diretos (pellets)	50
2.12.1	Secagem.....	51
2.12.2	Densidade absoluta.....	52
2.12.3	Densidade aparente.....	52
2.12.4	Porosidade dos extrudados.....	53
2.12.5	Índice de expansão volumétrica dos extrudados.....	54
2.12.6	Textura instrumental (crocância).....	55
2.13	Análise sensorial.....	56
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3.1	Local	58
3.2	Obtenção das matérias primas.....	58
3.3	Caracterização química do gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, grits de milho e grits de arroz	58
3.3.1	Delineamento experimental e análise estatística das matérias-primas.....	59
3.3.2	Composição centesimal.....	59
3.3.3	Determinação dos minerais.....	60
3.3.4	Aminoácidos.....	60
3.3.5	Determinação granulométrica das matérias-primas.....	60
3.3.6	Tratamento e delineamento experimental.....	61

3.4	Elaboração dos produtos extrudados não expandidos (pellets)	63
3.5	Preparo das amostras dos pellets para análises.....	66
3.6	Análise dos pellets.....	68
3.7	Delineamento experimental e análise estatística dos 12 tratamentos e dos 4 melhores tratamentos escolhidos da análise sensorial.....	72
3.8	Análises utilizadas no experimento.....	73
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1	Composição centesimal das matérias-primas.....	74
4.2	Granulometria.....	77
4.3	Minerais.....	78
4.4	Aminoácidos.....	81
4.5	Composição centesimal dos pellets antes da fritura.....	83
4.6	Composição dos minerais dos dozes tratamentos (pellets) antes da fritura.....	88
4.7	Análise Sensorial.....	90
4.7.1	Aparência.....	90
4.7.2	Sabor.....	92
4.7.3	Textura.....	94
4.7.4	Aspecto global.....	96
4.7.5	Intenção de compra.....	97
4.8	Composição centesimal dos tratamentos (T1, T2, T26 e T35) melhores resultados da análise sensorial.....	99
4.9	Minerais dos extrudados melhores tratamentos da análise sensorial.....	103
4.10	Vazão (kg/h) dos extrudados de grits de milho e grits de arroz com adição de gergelim em grão.....	105
4.11	Densidade absoluta (DABS).....	112
4.12	Porosidade (Po).....	114
4.13	Densidade antes da fritura (DAF).....	115
4.14	Índice de expansão volumétrica (IEV).....	119
4.15	Força de compressão (FC) e força de ruptura (FR).....	122
4.16	Força específica de ruptura (FSR) e trabalho de crocância (TC).....	123
4.17	Cor.....	126
4.17.1	Cromaticidade a*.....	129
4.17.2	Cromaticidade b*.....	131
4.17.3	Diferença de cor.....	134
4.18	Viscosidade inicial de pasta e viscosidade máxima.....	136
4.18.1	<i>Breackdown</i> (cP) e <i>setback</i> dos extrudados antes da fritura ..	138
4.19	Vazão (kg/h) dos extrudados de grits de milho e grits de arroz e adição de torta de gergelim desengordurada (TGD).....	142
4.20	Densidade absoluta (DAB).....	149
4.21	Porosidade (Po)	152

4.22	Densidade antes da fritura (DAF) e densidade pós-fritura (DPF).....	153
4.23	Índice de expansão volumétrica.....	158
4.24	Força de compressão (FC) e força de ruptura (FR).....	161
4.25	Força específica de ruptura (FSR) e trabalho de crocância (TC).....	165
4.26	Cor.....	166
4.26.1	Cromaticidade a*.....	169
4.26.2	Cromaticidade b* e diferença de cor.....	172
4.27	Viscosidade inicial de pasta e viscosidade máxima.....	177
4.28	Viscosidade de quebra (VQ) ou <i>breackdown</i> e setback ou tendência a retrogradação.....	182
5	CONCLUSÃO.....	187
	REFERÊNCIAS.....	189
	APÊNDICES.....	213

1 INTRODUÇÃO

O milho é uma fonte alimentícia de carboidratos, precursor da vitamina A, que atua como corante natural, promovendo a coloração de produtos alimentícios e influencia a aparência de produtos industrializados. O grits de milho, resultante do beneficiamento e moagem do milho, é bastante aceitável e utilizado pela indústria de extrusão termoplástica.

O arroz é uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido. Fornece também proteínas, vitaminas e minerais e tem baixo teor de lipídios, quando polido. Nos países em desenvolvimento, o arroz é um dos principais alimentos da dieta, responsável por fornecer carboidratos e proteínas. O grits de arroz, que é um subproduto do grão, é rico em carboidratos.

Do ponto de vista nutricional, o gergelim foi introduzido na alimentação humana por ser grande fonte de proteína, óleo, fibras e minerais. Além disso, é uma das espécies vegetais mais antigas, cultivada desde a Antiguidade. No Egito, foi bastante utilizado para a extração e a obtenção de óleo, e para a comercialização da semente. Foi trazido ao Brasil (região nordeste) pelos portugueses e plantado como “cultura de fundo de quintal”, consumida e bastante comercializada.

Com o aumento do consumo da semente, a promoção do cultivo do gergelim também pode criar nova alternativa econômica e social para as condições semiáridas do nordeste brasileiro. A planta é de fácil cultivo e, no Brasil, é de ciclo produtivo rápido (entre 90 e 130 dias), apresentando tolerância a estiagens e sendo muito resistente à seca, por isso, muito comum no nordeste.

Na busca de novas tecnologias para a elaboração de extrudados com a finalidade de agregar valores às culturas simples, o gergelim mostra-se uma excelente fonte para a substituição parcial do amido em diversos produtos. Por ser rica fonte de fibras, proteínas e óleos, torna-se uma alternativa para balancear e inovar formulações de produtos extrudados (*pellets*).

No Brasil, a produção de extrudados está ganhando importância e o potencial de crescimento no mercado é promissor. Muitas vantagens têm sido atribuídas à extrusão termoplástica, como baixo custo, alta produtividade, versatilidade e produto uniforme. Os extrudados possuem uma variedade de forma, textura e sabor diferentes.

Este trabalho foi realizado com os objetivos gerais de desenvolver extrudados não expandidos diretos (*pellets*) à base de grits de arroz e de grits de milho adicionados de gergelim em grão e torta de gergelim desengordurada e divulgar o uso da tecnologia de extrusão termoplástica com novas linhas de produtos extrudados.

Os objetivos específicos foram:

- a) avaliação e difusão das informações sobre a produção de novos produtos à base de gergelim, com o uso de tecnologia de extrusão termoplástica, aumentando a aplicação do grits de milho e do grits de arroz;
- b) caracterizar o gergelim em grão, a torta de gergelim desengordurada, o grits de milho e do grits de arroz;
- c) realizar a avaliação tecnológica do processo de extrusão em relação ao teor de gergelim e à torta de gergelim desengordurada;
- d) proceder à caracterização dos extrudados não expandidos diretos (*pellets*).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os elementos descritivos dos extrudados elaborados com grits de milho e de arroz com adição de gergelim em grão e torta desengordurada com uso de tecnologia de extrusão termoplástica são citados abaixo.

2.1 Produtos extrudados não expandidos diretos (*pellets*)

Extrudados não expandidos diretos são também chamados de *snacks* de terceira geração ou *half-products* (produto intermediário). São produtos de conveniência para consumo a qualquer hora e comumente produzidos pela indústria nacional, que utiliza farinha de trigo ou outro amiláceo em tecnologia de extrusão sob baixa pressão, a qual impede que os produtos se expandam (ASCHERI; NASCIMENTO, 1999). Este produto, sem estar frito, é denominado *pellets* sem expansão e está pronto para ser vendido ou para seguir para o processo de fritura. A fritura pode ocorrer em um fritador contínuo ou por batelada, por 9 segundos, a 180 °C (GUERREIRO, 2007).

De acordo com Guerreiro (2007), os produtos extrudados têm alto valor agregado e encontram grande receptividade junto aos consumidores infantis e juvenis. As indústrias alimentícias abrem uma grande perspectiva para a pesquisa, com novos processos e produtos extrudados.

Para a expansão dos *pellets* podem ser utilizados fritura em óleo quente a 180 °C, aquecimentos por infravermelho, ar quente ou micro-ondas. O uso de sistemas de ar quente reduz a absorção de gordura pelos extrudados ao fritar, permitindo uma adição controlada de óleo e/ou gordura, bem como as calorias do produto, o que chamaria a atenção dos consumidores para os benefícios que favorecem à saúde pública (OLIVEIRA, 2007).

2.2 Gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum*, L.) pertence à família *Pedaliaceae*, que é constituída por 16 gêneros e 60 espécies, encontradas em áreas tropicais e subtropicais (CALDWELL, 1958). Essa é uma das espécies mais plantadas no mundo e, também, um alimento de grande valor nutritivo, que constitui opção de renda, fonte de proteína para o consumo humano e enriquecimento de outros produtos dos segmentos fitoterápicos e fitocosméticos (BELTRÃO; VIEIRA, 2001).

O cultivo do gergelim apresenta grande potencial econômico devido às possibilidades de exploração, tanto no mercado nacional quanto internacional. Todas essas características, assim como a facilidade de seu cultivo e seu alto potencial de rendimento, fazem do gergelim uma alternativa importante para minimizar o quadro de carência alimentar e econômica das populações de baixa renda (ARRIEL et al., 2012).

Os grãos de gergelim são consumidos *in natura* ou utilizados para refinar produtos confeitados, como os de panificadora. Quando inteiros, os grãos apresentam sabor amargo, devido à acidez oxálica presente no tegumento (película), que pode ser removida por processos manual, mecânico, físico e químico (AUGSTBURGER et al., 2000).

Há mais de 60 anos a semente oleaginosa atende ao segmento agroindustrial oleaginoso e de alimentos *in natura*, além de ter diversas aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e óleo-química (FIRMINO et al., 2001).

As sementes de gergelim são pequenas e achatadas, têm coloração variando de branca a preta, contêm cerca de 25% de proteína, vitaminas do complexo B e niacina. São ricas em minerais, como cálcio, ferro, fósforo, potássio, magnésio, zinco e selênio (ANTONIASSI et al., 1997). O óleo é o principal produto destas sementes, muito rico em ácidos graxos insaturados, com

97% de ácido ω -6 e 41% ácido ω -3, representando de 44% a 58% do seu peso. É um óleo especial e muito procurado, apresentando vários constituintes secundários importantíssimos na definição de suas qualidades, incluindo ômega 3. É resistente à rancificação, devido à presença dos ácidos graxos insaturados, tem a qualidade marcante de permanecer fresco por longo tempo e pode ser aplicado em alimentos, como doces, margarinas e produtos de panificação, permanecendo livres de rancidez num espaço de tempo dez vezes maior que aqueles fabricados com alguns dos melhores óleos vegetais conhecidos (WANG; CABRAL; FERNANDES, 1997; ASCHERI; NASCIMENTO, 1999; WORD HEALTH ORGANIZATION-WHO, 2003). Apesar de seu alto valor nutritivo, o gergelim tem baixo consumo (BELTRÃO; VIEIRA, 2001).

Os cereais são matérias-primas que apresentam deficiências em lisina e triptofano. A combinação de cereais e gergelim melhora o balanceamento de aminoácidos, pois o gergelim possui lisina e triptofano em quantidade suficiente para complementar a deficiência desses componentes nos cereais (CALVETE et al., 1993).

No mercado mundial, o gergelim tem significativa importância econômica, sendo considerado a nona oleaginosa mais cultivada no mundo. Segundo a FAO (2006), a produção mundial do gergelim é estimada em 3,16 milhões de toneladas, obtidas em 6,56 milhões de hectares, com produtividade de 481,40 kg/há. Índia e Myanmar são responsáveis por 49% da produção mundial. O Brasil é um pequeno produtor, com apenas 13.000 toneladas produzidas em 20.000 hectares, e rendimento em torno de 650 kg/há (ARRIEL et al., 2012). Além do cultivo tradicional na maioria dos estados nordestinos, o gergelim é cultivado em São Paulo, Goiás (maior produtor), Mato Grosso e Minas Gerais (BARROS et al., 2001; LANGHAM; WIEMERS, 2002).

Como produto de alto valor alimentar, o gergelim, assim como o óleo, é comercializado em âmbito internacional. Por outro lado, Índia, China, Nigéria,

Guatemala, México, Holanda, Japão, Líbano e Sudão são conhecidos como maiores exportadores de óleo ou de gergelim em grãos (ARRIEL et al., 2012). Em comparação com esses países, o Brasil apresenta-se como pequeno importador e exportador do gergelim em grão e de seu óleo. O importante a destacar é que o país tem grande potencial de melhorar sua posição no comércio internacional desses produtos, visto que possui condições climáticas apropriadas, empresas de pesquisa trabalhando no melhoramento genético e hábitos de produção e consumo (BARROS; SANTOS, 2002).

Subprodutos, como cascas, bagaço ou torta semidesengordurada, que possuem valor nutricional agregado, podem ser aproveitados como ingredientes em formulações para se obter novos produtos (NASCIMENTO, 2010). A torta de gergelim é considerada um subproduto da extração do óleo que pode ser destinada à alimentação humana e animal, sem quaisquer restrições, em virtude de seu alto teor de proteína (39,77%) e teor de fibras (4,7%). Pode ser obtida por prensagem (método Expeller) dos grãos, apresentando, ainda, 8,2% de umidade, 12,8% de óleo, 22,8% de carboidratos e 11,8% de cinzas (MILANI; GONDIM; COUTINHO, 2005). Apresenta elevado teor de vitaminas do grupo B e alta concentração de aminoácidos, podendo ser usada na alimentação humana (ALMEIDA et al., 2010). Durante o processo de extrusão ocorre aumento no cisalhamento pelo aumento da velocidade do parafuso, o qual irá influenciar as características físicas dos extrudados (NASCIMENTO, 2010).

Para uma eficiente utilização e aceitação do consumo dessa oleaginosa, torna-se necessário o estudo das características dos produtos elaborados a partir de formulações ricas neste subproduto (torta de gergelim).

2.3 Grits de milho

Segundo Cardoso-Santiago (2002), o milho (*Zea mays* L.) é cultivado na maioria dos países, sendo superado apenas pelo trigo. Conforme o Estado do

Paraná (2012), o grão é o segundo mais produzido, com 161,9 milhões de hectares, e a produção mundial cresceu, passando para 453 milhões de toneladas, no final da década de 1980 a 860,1 milhões, estimadas na safra 2011/12, o que corresponde a um aumento de 90% no período.

A cultura se estende de norte a sul do país, se destacando como um dos maiores produtores mundiais (DPE e DEAGRO, 2003) e grande parte da produção de milho destina-se à alimentação animal. Os produtos de milho, largamente utilizados na alimentação humana em nosso país, até a metade do século XX, tiveram seu consumo restringido a partir de 1950, com a introdução do subsídio aos produtos de trigo (BASTOS, 1987). Com a retirada deste subsídio, tornou-se interessante o consumo de produtos derivados de milho, tendo em vista seu baixo custo e alto valor energético.

O grits é um dos subprodutos do milho. Seu tamanho varia de 2 a 0,60 mm, o maior a abaixo de 0,60 mm, o menor (ZANOTTO; BELLAVAR, 1996). Na fabricação de extrudados de milho, os grits oriundos da moagem dos grãos secos constituem a matéria-prima principal, sendo a qualidade de processamento essencialmente definida pelas características intrínsecas dos grãos que lhe deram origem, os quais podem variar não apenas nos aspectos físicos, mas, principalmente, na composição de seus constituintes principais (ROBUTTI et al., 2002; WATSON, 1987).

2.4 Grits de arroz

O arroz é um dos cereais mais produzidos no mundo. A produção nacional, em 2011, foi estimada em torno de 12.628,2 mil toneladas, com um incremento ao redor de 967,3 mil toneladas, cerca de 8,3%, ou mais, em relação à safra 2009/10, que foi de 11.660,9 mil toneladas (CONAB, 2011). Os grãos quebrados alcançam baixo valor no mercado, além da pouca aceitação e uma pequena parcela deles é transformada em produto de alto valor agregado.

Entretanto, sugere-se o aproveitamento desse material, por meio do processo de extrusão termoplástica, como constituinte complementar em formulações de produtos alimentares para consumo humano (SILVA, 2007). O arroz também apresenta pequena quantidade de aminoácidos livres, localizados, principalmente, no gérmen (594,9 mg 100 g⁻¹) e no farelo (361,4 mg 100 g⁻¹), com pequena concentração no endosperma (52,7 mg 100 g⁻¹). Entre os aminoácidos livres predominam aspartato e glutamato, que correspondem a, aproximadamente, 60% do total (SAIKUSA et al., 1994). Além dos aminoácidos superfíci, o arroz também apresenta pequena quantidade de aminoácidos livres, localizados, principalmente, no gérmen (594,9 mg 100 g⁻¹) e no farelo (361,4 mg 100 g⁻¹), com pequena concentração no endosperma (52,7 mg 100 g⁻¹). Entre os aminoácidos livres, predominam aspartato e glutamato, que correspondem a, aproximadamente, 60% do total (SAIKUSA et al., 1994).

A geração de grãos de arroz quebrados durante o beneficiamento varia, em tamanho, de 1 a 2 mm e está intimamente relacionada com o desenvolvimento de estresse e de pressão no interior do grão, devido à absorção de umidade, levando à formação de fissuras e rachaduras que, geralmente, resultam na quebra do grão durante o beneficiamento. Algumas propriedades funcionais ímpares do arroz, como a capacidade de carrear sabor, a hipoalergenicidade e o *flavor* suave, o tornam um grão desejável para ser utilizado em produtos enriquecidos. Nesse sentido, o arroz tem sido amplamente utilizado para produtos manufaturados, como pudins, alimentos infantis, grãos inflados e cereais matinais (WANG et al., 2002).

Segundo Ascheri (2000), aproximadamente 20% da produção total/ano de arroz são transformados em outros produtos de menor valor econômico durante o beneficiamento, o que equivale a 2 milhões de toneladas/ano. Dentre as principais causas destas perdas estão o sistema de cultivo, a variedade e a classificação do arroz, além do ajuste e do tipo de máquinas utilizadas durante o beneficiamento. Os grãos quebrados e a quirera têm baixo valor de mercado,

além de pouca aceitação e uma pequena parcela deles é transformada em produtos de alto valor agregado. Porém, constituem importante matéria-prima para a elaboração de uma série de produtos que podem ser desenvolvidos por meio do processo de extrusão, como constituinte principal ou ingrediente em formulações, na elaboração de produtos para o consumo humano e animal. Sua utilização pode ser feita em produtos como extrudados expandidos (*snacks*) e não expandidos diretos (*pellets*).

2.5 Extrusão termoplástica

A busca da valorização de culturas tropicais com baixas exigências, em termos de tratamentos culturais e baixo custo de produção, aliada ao desenvolvimento de novos produtos, viabiliza o desenvolvimento de tecnologias simples para a elaboração de produtos de maior valor agregado (RESCHSTEINER; CABELLO, 2007).

Segundo Bombo (2006), a extrusão termoplástica foi desenvolvida, em muitos aspectos, na indústria de materiais plásticos, desde a teoria, a configuração e o funcionamento das máquinas. Tornou-se, assim, uma ferramenta tecnológica de múltiplas aplicações, como na indústria de alimentos, para preparo de alimentos prontos (*snacks*, macarrão, etc.) e produção de novos ingredientes (amidos modificados, farinhas pré-cozidas para uso em panificação, proteínas vegetais texturizadas, etc.) (VALIM; BATISTURI, 2000).

A tecnologia de extrusão vem sendo amplamente utilizada na elaboração de produtos devido à sua versatilidade e flexibilidade, além de ser um método de cozimento que requer menor gasto de energia. Apresenta custo do equipamento consideravelmente alto, porém, devido à alta produtividade, este custo pode ser reduzido em curto espaço de tempo (RESCHSTEINER; CABELLO, 2007).

O princípio fundamental do processo é converter um material sólido em um fluido, pela aplicação de calor e trabalho mecânico e extrusá-lo por meio de uma matriz, promovendo a termoplasticidade do material (LEONEL, 2009).

O extrusor consiste de sistema de alimentação, cilindro, parafuso ou rosca com mecanismo de acionamento, matriz e mecanismo de corte (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA, 2009). O princípio do funcionamento é bastante simples, consistindo no transporte do material por um cilindro, de uma extremidade à outra, impulsionado por uma rosca girando e carreando a massa em direção à extremidade final, que é parcialmente fechada pela matriz, que impõe resistência ao escoamento. A interação entre a restrição na matriz e a força mecânica da rosca sobre a massa implica em dois fenômenos mecânicos: o cisalhamento e a pressão (HARPER, 1992).

Os principais fenômenos observados na interação entre o extrusor e o alimento, durante o processo de extrusão, são a geração de calor, a pressão e o cisalhamento. A pressão estática é influenciada pela interação entre a configuração da matriz, a temperatura da matéria-prima e a taxa de cisalhamento (ZHENG; CHIANG; WANG, 1995).

Os parâmetros de cisalhamento mecânico e de calor, combinados, provocam modificações irreversíveis nos alimentos, tais como a gelatinização do amido e a desnaturação do material \square uperfíc, criando novas texturas e formas do produto (VALIM; BATISTURI, 2000). O calor e a taxa de cisalhamento são responsáveis pela transformação molecular do alimento durante a extrusão. O cisalhamento causa rompimento na estrutura do amido e reduz os grânulos em até 0,5 μ m. A massa obtida durante a extrusão pode ser manipulada pela alteração e a configuração da rosca (ZHENG; CHIANG; WANG, 1995).

As proteínas submetidas ao processamento térmico sofrem danos causados por diferentes tipos de reação, como, por exemplo, destruição de aminoácidos por oxidação e modificação de algumas ligações de aminoácidos,

os quais provocam perda de disponibilidade biológica (VALIM; BATISTURI, 2000).

Por outro lado, o aumento da temperatura da camisa do extrusor provoca aumento na temperatura do produto na mesma ordem, principalmente da viscosidade do material, sem mudanças importantes no tempo de residência (SENF et al., 2001). O aumento do conteúdo de água durante o processo de extrusão acarreta, normalmente, o decréscimo na viscosidade do produto, com base nas características da viscosidade de pasta, resultando no abaixamento da geração de calor e no decréscimo na queda de pressão do produto na saída da matriz, favorecendo o decréscimo da temperatura e da pressão em relação ao conteúdo de água presente e influenciando a diminuição do tamanho do produto (SENF et al., 2001).

No processo de extrusão, durante o cozimento das misturas, vários parâmetros devem ser considerados, como a umidade do material, a temperatura, a pressão e a velocidade do parafuso. Trata-se de um processo contínuo, no qual a matéria-prima é forçada através de um sistema de compressão, em condições de aquecimento, pressão, fricção molecular, gelatinização do amido, cozimento e reestruturação, a fim de obter produtos com novas texturas e formatos (RESCHSTEINER; CABELLO, 2007).

A pressão no interior do extrusor durante a extrusão apresenta algumas vantagens em relação aos demais tipos de processos industriais, tais como inibição de fatores antinutricionais, minimização das reações de Maillard, redução na rancificação das gorduras, aumento da digestibilidade dos lipídeos e diminuição nas perdas de vitaminas, principalmente as vitaminas lipossolúveis (AMARAL, 2002).

Segundo Moura (2000), os extrusores são constituídos por um ou dois parafusos ou roscas giratórias, que são firmemente encaixados dentro de um cilindro, que é utilizado para alimentar e pressionar o material. Este parafuso apresenta-se como parte central e principal do equipamento, possuindo, em sua

divisão, as zonas de alimentação, transição e alta pressão. Ao girar o parafuso, o material é conduzido em direção à matriz, revirando e pressionando-o contra as paredes do cilindro, promovendo o cisalhamento e a transformação em uma massa uniforme. O alimento absorve calor por dissipação de energia mecânica aplicada ao parafuso.

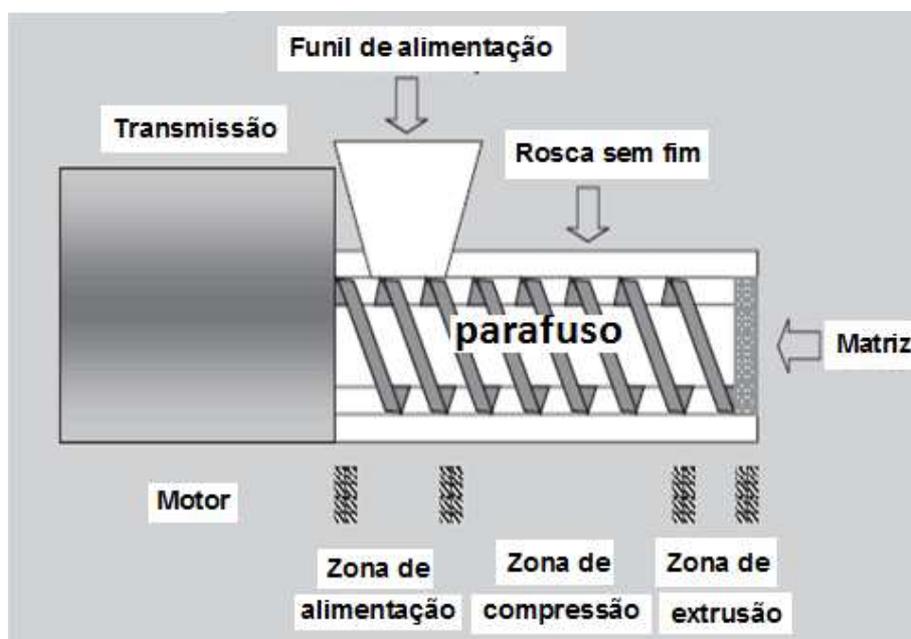


Figura 1 Funcionamento do extrusor (SANTOS et al., 2004)

O calor pode ser adicionado através de uma camisa de vapor no cilindro ou por aquecimento elétrico. O cilindro de um extrusor pode ser constituído de seções, a fim de que a desmontagem seja facilitada, ou de uma única peça. O controle da temperatura em cada uma das zonas do extrusor pode ser feito por meio de serpentinas de ar comprimido ou camisas de água fria. Muitos cilindros são equipados com sensores de pressão e temperatura para controle do processo. O final do cilindro é equipado com um sistema de peças que, geralmente, tem vários orifícios, conhecido como matriz, cuja função é moldar o produto no formato desejado e trabalhar como um redutor de fluxo, aumentando a pressão na zona de cozimento do extrusor (BORGES, 2002).

2.6 Fatores que influenciam o processo dos produtos extrudados (*pellets*)

Entre as condições operacionais de extrusão são de fundamental importância as variáveis dependentes ou respostas como índice de absorção em água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA), viscosidade de pasta, porosidade, densidade absoluta, densidade aparente e índice de expansão volumétrica, que mudam como função das variáveis independentes (HUBER, 1991) ingredientes alimentares, umidade da matéria-prima, geometria do parafuso, configuração da matriz, velocidade do parafuso, temperatura do cilindro, pré-condicionamento e taxa de alimentação, taxa de cisalhamento e tempo de residência (HARPER, 1981; SENFF et al., 2001).

2.7 Efeito das variáveis no processo de extrusão

As variáveis do processo de extrusão termoplástica para os extrudados de grãos de milho e grãos de arroz com adição de gergelim em grão e torta desengordurada encontram-se citadas abaixo.

2.7.1 Matéria-prima

A matéria prima é um dos ingredientes mais importantes no processo de extrusão termoplástica. Conforme Ascheri e Carvalho (2008), farinhas de trigo e amido são as mais comuns para a produção de *pellets*. Porém, outros cereais, raízes e tubérculos também podem ser utilizados na produção dos mesmos. No entanto, eles devem ser manipulados em função das características do produto final desejado, pois, dependendo da matéria-prima, os produtos podem apresentar diferentes texturas (moles, duros, crocantes, etc). A combinação de ingredientes pode conter altos níveis de amido para maximizar a expansão do produto final durante a exposição ao óleo quente ou ao forno de micro-ondas.

A tecnologia de extrusão permite o emprego de matérias-primas para a transformação em alimentos industrializados, convenientes, de maior vida útil e de grande aceitação pelo público consumidor. As matérias-primas mais utilizadas na formulação dos produtos extrudados são o arroz, o trigo, a aveia e o milho. Nas formulações desses produtos, podem ser utilizadas misturas desses cereais, na forma de grãos, de farinhas integrais ou não, assim como podem ser misturados com outros ingredientes, para variar a aparência, a textura, o sabor, o aroma e outras características dos produtos (DANDY; DOBRASZCZYK, 2001).

Num determinado processo de extrusão, os fatores mais importantes relacionados à matéria-prima são umidade, formulação, tamanho da partícula, teor de proteína, teor de fibra, origem do amido e relação amilose/amilopectina (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

2.7.2 Adição de água ou umidade

Na produção de *pellets*, os níveis de água devem ser tão altos quanto o processo permita, a fim de evitar a expansão do produto na saída da matriz. Essa

umidade pode variar de 25% a 35%, dependendo da formulação utilizada. Altos níveis de umidade devem ser considerados, a fim de evitar o decréscimo da gelatinização (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

A quantidade de água utilizada durante o processo de extrusão deve estar de acordo com o tipo de material extrudado. A umidade influencia a qualidade do processo e as características de pasta da matéria-prima, durante a extrusão (GUERREIRO, 2007). Preconiza-se a água como agente plastificante e seus impactos na temperatura dos componentes do alimento são fatores determinantes nos parâmetros de qualidade (NIKOLAIDIS; LABUZA, 1996), textura (VAN HECKE; ALLAF; BOUVIER, 1998), desprendimento de aroma (GUNNING et al., 1999), etc) e estabilidade dos alimentos (SLADE; LEVINE, 1991).

Em formulações de extrudados não expandidos é necessário um pré-condicionamento no qual ocorram mistura e hidratação do material. Em alguns casos, é necessária uma etapa de pré-aquecimento com vapor e, dependendo das características do produto final, fornece-se até 50% do total da água de condicionamento, cujo valor depende da quantidade de material amiláceo presente na formulação (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

2.7.3 Formulação

Para compor ou balancear uma formulação são necessárias a disponibilidade e a combinação adequada de ingredientes. Os principais ingredientes utilizados na extrusão de alimentos são o amido e a proteína. A fibra alimentar tem sua importância quando se quer enriquecer o produto extrudado, tornando-o um alimento funcional.

a) Amido

O amido é um polissacarídeo formado apenas por unidades glicosídicas. Os grãos de amido são constituídos por duas moléculas distintas, amilose e amilopectina, ambas contendo somente unidades de α -D-glicose (BULÉON et al., 1998). A diferença no grau de ramificações entre a amilose e a amilopectina origina importantes diferenças entre as propriedades físico-químicas dos dois polímeros. De maneira geral, a amilose apresenta maior cinética de cristalização ou de formação de complexos em relação à amilopectina. Verifica-se, ainda, que os dois polímeros são incompatíveis ou imiscíveis e que esta imiscibilidade permanece, mesmo em soluções aquosas diluídas destes polímeros (KALICHEVSKY; RING, 1987).

As características funcionais dos amidos podem ser alteradas pelas condições de extrusão, dependendo dos parâmetros operacionais do processo (umidade inicial, temperatura de extrusão, velocidade de rotação e configuração das roscas, diâmetro da matriz e fluxo de massa), dos parâmetros do sistema (grau de cisalhamento, temperatura do produto, tempo de residência e pressão do sistema) e dos parâmetros estruturais, aqueles relacionados à matéria-prima (HARPER, 1981; GUY; HORNE, 1988).

A principal superfície do tipo de tratamento térmico do amido com alto teor de umidade é a conversão do mesmo que ocorre durante a extrusão, em função de alterações térmicas e mecânicas que dependem de vários fatores, como umidade do material, perfil de temperatura no interior do extrusor, taxa de alimentação, velocidade de rotação do parafuso, configuração do parafuso e meio químico (OLIVEIRA, 2007).

A aplicação de calor úmido no amido durante o processo de extrusão induz modificações físico-químicas nos grânulos, resultando em mudanças reológicas e texturais nos produtos, os quais aumentam a digestibilidade e a disponibilidade do amido como fonte de energia. Dependendo das condições do

processamento da extrusão e das misturas entre os ingredientes alimentares, ocorrem intumescimento e ruptura nos grânulos de amido (BOMBO, 2006).

b) Proteína

O interesse da indústria de extrudados por produtos desenvolvidos a partir de ingredientes \square uperfíci não se deve somente às suas características nutricionais, mas também às suas propriedades funcionais, as quais definem as suas aplicações comerciais. Alimentos extrudados a partir de matérias-primas ricas em proteínas provocam a reorganização das estruturas existentes na matéria-prima por meio do rompimento de várias interações entre as macromoléculas presentes e a \square uperfície \square reestruturação do material na direção do fluxo. Há também um rompimento de ligações covalentes e hidrólise do material. Obtém-se produto de textura melhorada, podendo ser aproveitado diretamente como alimento. Podem ocorrer efeitos decorrentes do processamento por extrusão sobre alguns macro e micronutrientes, desnaturação, \square uperfíc, dissociação e formação de filamentos, o que propicia um produto reorganizado, poroso e fibroso, com melhor valor nutricional e digestibilidade aumentada (maior exposição de resíduos de aminoácidos e inativação de inibidores de proteases e outras substâncias antinutricionais), formação de sabor e aroma pelas reações de Maillard (SAAD et al., 2008).

c) Fibra alimentar

Conforme Coppini et al. (2004), fibra alimentar é a parte comestível das plantas ou análogos aos carboidratos que são resistentes à digestão e à absorção pelo intestino delgado humano, com fermentação parcial ou total no intestino grosso. Inclui substâncias que, fisiologicamente, são semelhantes às fibras, inulina, fruto-oligossacarídeos (FOS) e os amidos resistentes.

Conforme Coppini et al. (2004), as fibras promovem vários benefícios, como acelerar a passagem dos produtos residuais do organismo; absorver

substâncias perigosas (toxinas), as quais mantêm o tubo digestivo saudável. No trato gastrointestinal, ela serve de substrato para a formação de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), fornecendo energia para que as células intestinais desempenhem bem suas funções no organismo.

Quando as fibras estão envolvidas no processo de extrusão, pode ocorrer aumento em seu rendimento, dependendo do tipo de matéria-prima em estudo. A fibra solúvel e a insolúvel da quirera nativa de arroz, por exemplo, aumentam com o processo de extrusão, quando comparadas à fibra de arroz e ao milho comercial. Produtos extrudados de quirera apresentam mudança no perfil da fibra alimentar quando comparados ao perfil da fibra alimentar de quirera de arroz nativo. O teor de fibra solúvel, possivelmente, aumenta devido à solubilização de componentes fibrosos da quirera de arroz, em razão de altas temperaturas e de pressão no processo de extrusão (ENGLYST et al., 1983).

Segundo Fornal et al. (1987), a celulose e a lignina em farinha extrudada de cevada e trigo-mouro demonstram redução em seu conteúdo o que significa que as mesmas sofrem algum tipo de degradação durante o processo, passando de fibra insolúvel para fibra solúvel, o que explica o aumento de fibra solúvel com o processo de extrusão.

O aumento nos teores de fibra é um resultado desejável na extrusão, devido ao aumento do teor de amido resistente, que permite que o alimento seja comercializado como fonte de fibra (teor maior que 3%), sendo este um bom apelo comercial para os consumidores que têm optado por alimentos ricos em fibra, menos prejudiciais à saúde (FORNAL et al., 1987).

2.7.4 Configuração do parafuso ou rosca

O processo de extrusão se inicia com a matéria-prima que entra no extrusor e é convertida em uma massa fundida. O aumento da rotação do parafuso tem como primeiro efeito o aumento da taxa de cisalhamento e, como

segundo, o decréscimo do tempo de residência (AREAS, 1992). O grau de gelatinização aumenta com o aumento do tempo de residência da matéria-prima no extrusor e este parâmetro é controlado pela configuração da rosca (GUERREIRO, 2007), devido às altas pressões e ao grande cisalhamento, em temperaturas elevadas, dentro do extrusor (AREAS, 1992).

2.7.5 Matriz

As taxas de cisalhamento podem ser alteradas drasticamente pela mudança de uma simples matriz de abertura, por abertura de três, quatro e até mesmo múltiplas aberturas. O fluxo do material extrusado aumenta quando se muda uma matriz simples por uma múltipla; obviamente, a pressão de descarga do produto é maior quanto menores forem o número e o diâmetro da abertura da matriz (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

A configuração da matriz é fundamental na qualidade do produto final. Conforme Ascheri e Carvalho (2008), a matriz, além de ser responsável pelo formato final do extrusado, tem também a importante função de restringir o fluxo do material em extrusão, causando o desenvolvimento de pressão e cisalhamento necessário, antes da saída do produto. Esses efeitos são produzidos pela matriz em maior ou menor escala e dependem do tipo de produto que se deseja produzir.

2.7.6 Temperatura do cilindro

A temperatura utilizada no processo de extrusão exerce papel importante nas mudanças das propriedades físico-químicas dos produtos e influencia o grau de gelatinização do amido. Os amidos degradados são compostos de moléculas com baixa massa molecular, em decorrência da dextrinização. Esse fenômeno, usualmente, ocorre em temperaturas de extrusão

maiores que 160 °C. Em amido de milho, o maior grau de gelatinização ocorre à temperatura de 130 °C. A temperatura também depende da fonte e das características da matéria-prima (GUERREIRO, 2007). Além da galatinização do amido, a temperatura é responsável pela desnaturação da proteína.

Conforme Ascheri e Carvalho (2008), o uso de temperaturas muito altas na manufatura de *pellets* provoca alto grau de cozimento e o produto, na saída da matriz, pode mostrar sinais de expansão e aparecerem bolhas de ar. As zonas devem ser resfriadas para controlar o excesso de calor, manter a homogeneização do processo e, conseqüentemente, a qualidade do produto final. As zonas de aquecimento do extrusor devem ser monitoradas de tal forma que atinjam a temperatura requerida, pois esta temperatura, juntamente com o efeito de fricção, produz calor.

2.8 Grau de cozimento/viscosidade de pasta por RVA

De acordo com o manual Newport Scientific (1998), do Rapid Visco Analyser (RVA), o grau de cozimento de um produto extrudado é realizado por meio do monitoramento da viscosidade de pasta. O método é muito sensível e descritivo ao efeito do processamento causado pelo teor de umidade do material a ser extrusado e pela energia térmica e mecânica do sistema. O grau de cozimento ou gelatinização do amido pode, ainda, ser definido como uma continuidade de eventos, incluindo a perda da integridade dos grânulos e a despolimerização dos polissacarídeos (amilose e amilopectina) (ASCHERI; MODESTA; CARVALHO, 2006).

A viscosidade de pasta do amido é determinada pelo grau de inchamento e resistência dos grânulos, por meio da dissolução pelo calor ou fragmentação pela agitação mecânica (WHALEN et al., 1997).

A viscosidade de pasta a frio, também chamada de viscosidade inicial a 25 °C, indica a capacidade das farinhas de absorver água em temperatura

ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso, sendo expressa em Cp (centipoise), quando é utilizado o Rapid ViscoAnalyzer. A viscosidade de pasta a 95 °C é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico no viscosímetro. Durante o ciclo de aquecimento até 95°C ocorrem intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido até atingir o pico máximo de viscosidade (CARVALHO; ASCHERI; MITCHELL, 2000).

2.9 Índice de solubilidade em água

O índice de solubilidade em água (ISA) é um parâmetro que mede o grau de degradação do grânulo de amido e depende da quantidade de moléculas solúveis e também da intensidade e do tipo de reações que ocorrem durante a extrusão termoplástica. Além da gelatinização do amido, que resulta na suspensão da amilose e na fusão ou no rompimento da região cristalina do amido, que corresponde às moléculas de amilopectina de seus grânulos, poderá ocorrer também a dextrinização dos componentes do amido, além de outras reações que conduzem à formação de compostos de baixa massa molecular, que irão influir no índice de solubilidade em água (GUTKOSKI, 1997; SEBIO; CHANG, 2000).

A porcentagem da matéria-prima seca recuperada após a evaporação do sobrenadante da determinação de absorção de água está relacionada com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca (ASCHERI; CARVALHO, 1997). A quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca permite verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação do amido e a sua superfície solubilização. Indica a intensidade desse tratamento térmico e a superfície desramificação da estrutura amilácea, expressando a porcentagem da matéria-prima seca recuperada após a evaporação do sobrenadante e da determinação de absorção em água (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

A relação da solubilidade em água do meio pode diminuir com o aumento do conteúdo de umidade da mistura processada por extrusão (SENNFF et al., 2009).

2.10 Índice de absorção em água

O índice de absorção em água (IAA) é baseado na capacidade de absorção de água e a "superfície" formação de gel (OLIVEIRA, 2007). Correlaciona-se bem com a viscosidade de pasta do amido a frio. Os grânulos de amido, durante a gelatinização, absorvem água e, com aumento no grau da gelatinização, aumenta a fragmentação do grânulo, diminuindo o IAA e influencia o início da dextrinização (ASCHERI; CARVALHO, 1997). Baixos valores do IAA refletem no restrito acesso da água aos amidos extrusados, atribuído a uma estrutura compacta. A capacidade de absorção de água no material amiláceo é, geralmente, elevada, a partir do momento em que se aplica calor, em meio úmido durante o processamento, por meio do processo de gelatinização. Esta capacidade de absorção é radicalmente elevada à medida que a temperatura do sistema aumenta, até a temperatura de gelatinização do amido em questão. Se houver excessivo rompimento da estrutura amilácea, o índice de absorção tende a diminuir; a temperatura e a taxa de cisalhamento também podem provocar ruptura na estrutura amilácea e diminuir os valores do IAA (ASCHERI, 2006).

As principais propriedades funcionais do amido extrudado, quando disperso em água, são a absorção e a solubilidade. Assim, ele absorve o líquido rapidamente, formando uma pasta à temperatura ambiente, sem qualquer aquecimento (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

2.11 Distribuição do tamanho de partícula/granulometria

Segundo Zanotto e Bellaver (1996), a granulometria é o ato de medir o tamanho das partículas. A moagem é o processo no qual os ingredientes são reduzidos em seu tamanho pela força do impacto, corte ou atrito, chegando à obtenção do peneiramento, o qual determina o tamanho das partículas. A granulometria e o tamanho das partículas são fatores importantes na qualidade dos extrusados não expandidos. A granulometria fina é a mais adequada ao produto, resultando em melhoria da qualidade dos produtos extrudados (*pellets*). Segundo Ascheri et al. (2008), a distribuição do tamanho das partículas tem sido também apontada como um dos fatores determinantes da qualidade final dos extrudados, sejam eles expandidos diretos ou pós-expandidos, particularmente quando extrusora de parafuso único é utilizada. As partículas pequenas são penetradas pelo calor até seu núcleo, agregando-lhes umidade. Essa umidade, aliada à temperatura, irá envolver as partículas como agregante, originada dos amidos contidos no produto, dando-lhes condições para que elas se agreguem entre si (SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS, SBRT, 2009).

Segundo Klein (1999), vale salientar que não é somente o tamanho das partículas que é importante, mas também a variação no tamanho.

2.12 Avaliação da qualidade tecnológica dos produtos extrudados não expandidos diretos (*pellets*)

Os componentes dos alimentos são muito importantes para a qualidade tecnológica dos produtos extrudados. As proteínas são importantes para a elasticidade, a retenção de gás e a estrutura celular, a adesividade, a extensibilidade, a absorção de água, a ligação e, mesmo, a expansão. Os amidos são importantes, principalmente para adesão, coesão e expansão. Os lipídios são críticos para densidade volumétrica e expansão. A fibra é utilizada para o

controle da densidade e da textura, em adição ao seu especial valor nutritivo (SHUKLA, 1998).

2.12.1 Secagem

A secagem é uma operação unitária que pode ser definida como aplicação de calor sob condições controladas, para remover água presente em um produto por evaporação ou, ainda, é um complexo processo que envolve a transferência simultânea de calor e massa. O transporte de umidade, do interior para a superfície do material, pode ocorrer na forma líquida e/ou na de vapor, dependendo do tipo de produto e do percentual de umidade presente (PERUSSELLO, 2008).

Quando o material extrudado é submetido a uma rápida secagem a altas temperaturas, o material é desidratado principalmente na parte externa, e pode causar migração da umidade interna para o exterior, ocorrendo falta de homogeneidade nas peças desidratadas. Quando se utilizam secadores contínuos em larga escala de produção, a secagem pode ter um estágio crítico, por inadequado controle dos parâmetros temperatura e umidade relativa (SILVA, 2007).

A secagem é uma etapa do processo de extrusão de grande importância para os *pellets*, em que temperatura relativamente baixa e umidade relativa controlada são parâmetros. O índice de expansão volumétrico tem relação com essa etapa, pois, quando o material extrudado é submetido a uma rápida secagem em altas temperaturas, o material é desidratado principalmente na parte externa e, por causa da migração da umidade interna para o exterior, ocorre falta da homogeneidade da distribuição de água nos produtos desidratados, o que pode causar grandes diferenças no índice de expansão, ou melhor, expansão desuniforme (SILVA, 2007).

2.12.2 Densidade absoluta

A densidade absoluta é a diferença entre o volume total de poros e o volume envelope, ou bulk, que é o volume real de poros abertos. A densidade absoluta, ou real, pode ser avaliada pelas técnicas de porosimetria de mercúrio e picnometria pelo gás hélio. Na técnica da porosimetria, é esperado que os poros sejam maiores devido ao tamanho da molécula de mercúrio, quando comparada à molécula do hélio da picnometria. A diferença no volume de poros obtidos da porosimetria de mercúrio e da picnometria indica uma faixa de volume de poros mínimos, que é correspondente ao tamanho da molécula do gás. Gases como hélio e nitrogênio podem penetrar em microporos e mesoporos, onde o mercúrio não pode ser introduzido. A diferença entre o volume de poros obtidos pela porosimetria e o volume real de poros obtidos pela picnometria indica a limitação do método (WEBB, 2001).

Segundo Nascimento (2010), a densidade absoluta é uma medida fundamental que pode ser utilizada no dimensionamento e na operacionalização de equipamentos envolvidos no processamento, na embalagem, no transporte, bem como no controle de qualidade e na determinação da vida útil dos extrudados.

2.12.3 Densidade aparente

De acordo com Falcone e Philips (1988), a densidade aparente está relacionada indiretamente com a expansão. Quanto menos densos os extrudados forem, maior será a expansão, e vice-versa. Estes autores consideram, ainda, que a taxa de expansão é o resultado da expansão longitudinal e perpendicular ao fluxo da extrusão. Na verdade, a densidade aparente implica a expansão em todas as direções. Alta variação na densidade dos *pellets* pode acarretar em uma grande variabilidade de conteúdo, afetando a massa volumétrica bruta e a

redução do produto após a compactação, bem como a densidade aparente (densidade bruta).

A densidade aparente pode ser determinada por meio do uso de provetas ou de aparelho de compactação para análise de pós, grânulos, *pellets*, etc. (Ferreira, 2009).

De acordo com Mendonça (2005), é uma das características físicas mais importantes em produtos extrudados, pois interfere diretamente na embalagem e, conseqüentemente, na qualidade do produto final. Vários são os parâmetros que influenciam a densidade aparente de um produto extrudado, como umidade, temperatura de extrusão e formulação.

A densidade de um produto extrudado é um atributo muito importante na produção industrial, pois as embalagens são preenchidas pelo peso e não por volume. Se a densidade variar durante a produção, a embalagem ficará incompleta ou transbordará e implicará em graves problemas durante a produção. Portanto, a densidade é um atributo que, medido regularmente, garante a qualidade tanto do processo como dos extrudados (ASCHERI; CARVALHO, 2008).

2.12.4 Porosidade dos extrudados

A porosidade é definida como a função de volume aparente da amostra porosa que é ocupada pelos poros ou espaços vazios, em valor numérico que varia entre 0 e 1, dependendo do tipo de estrutura porosa envolvida (ALMEIDA, 2003). Segundo Ferreira (2009), os poros nos produtos \square uperfície \square a têm forma e tamanhos diferentes.

O equipamento utilizado para determinação da porosidade foi o picnômetro a gás hélio da Micromeritics®, modelo Accupyc 1330 (EUA). A metodologia utilizada é a de deslocamento de gás hélio. O picnômetro de gás determina o volume verdadeiro de um sólido, mesmo que poroso, por variação

da pressão de gás, numa câmara de volume conhecido (WEBB; ORR, 1997). Normalmente, utiliza-se hélio porque este gás, além de inerte, penetra facilmente nos poros (acessíveis) da amostra, devido ao pequeno tamanho dos seus átomos, permitindo, assim, determinar o volume do sólido com mais rigor.

O picnômetro de hélio é constituído por duas câmaras de volumes conhecidos (por calibração prévia), a câmara onde se coloca a amostra e a câmara de expansão, ligadas por uma válvula (válvula de expansão). Antes de iniciar a análise propriamente dita, a amostra é colocada na respectiva câmara e sujeita a um processo de desgaseificação que consiste em repetidas purgas com hélio, para a remoção de impurezas e umidade que, eventualmente, possa conter. A principal vantagem deste método reside na sua capacidade para medir apenas o volume da substância, ou seja, descontar o volume total da amostra de todos os poros (a menos que estes sejam inacessíveis ao gás). Por outro lado, permite, ainda, em princípio, medir volumes de sólidos com qualquer teor de umidade. E, como desvantagem, aponta-se o fato de as dimensões da amostra serem limitadas pelo reduzido tamanho do porta-amostra, cuja capacidade máxima é de 10 cm³ (WEBB; ORR, 1997).

2.12.5 Índice de expansão volumétrica dos extrudados

O volume de expansão é o indicador de qualidade primária associada à crocância, à dureza e à mastigabilidade de produtos extrudados. Durante o processo de extrusão, algumas variáveis, como temperatura, configuração do parafuso, tamanho, forma da matriz, velocidade do parafuso e conteúdo de umidade, têm grande influência no volume dos extrusados. As características das matérias-primas, tais como conteúdos de proteínas, lipídios, amido e composição química, podem também afetar as características do volume de expansão dos produtos extrudados após a fritura (WANG et al., 2008).

A facilidade e a rapidez na aplicação de um método ou de uma técnica são sempre imprescindíveis na determinação da qualidade de um produto alimentício. Dentre as técnicas mais simples, a expansão de extrudado, expandido ou não (*pellet*), é influenciada pelas mudanças físico-químicas ocorridas durante o processo de extrusão, como o grau de gelatinização (MERCIER; FEILLET, 1975; CHINNASWAMY; BHATTACHARYA, 1983; CAI; DIOSADY, 1993) e de degradação molecular do amido (GOMEZ; AGUILERA, 1983, 1984; KIRBY et al., 1988; CAI; DIOSADY, 1993). É fortemente influenciada pela temperatura de extrusão, teor de umidade, velocidade de rotação, configuração do parafuso e pela geometria da matriz (MERCIER; FEILLET, 1975; MERCIER, 1977; OWUSU-ANSAH; VAN DE VOORT; STANLEY, 1983; BHATTACHARYA; HANNA, 1987; KIRBY et al., 1988; COLONNA; TAYEB; MERCIER, 1989; GOGOI; YAM, 1994; LAUNAY, 1994; YAM et al., 1994; GOGOI; CHOUDHURY; OSWALT, 1996; GOGOI; OSWALT; CHOUDHURY, 1996; CHEN; YEH, 2001). O índice de expansão volumétrica (IEV) é calculado por meio do volume dos extrudados fritos, dividido pelo volume dos extrudados crus (RAMIREZ; WANDERLEI, 1997).

2.12.6 Textura instrumental (crocância)

A crocância é definida como sendo o comportamento do alimento ao se aplicar uma força de corte, durante a mastigação. Esta força está relacionada com o conteúdo de umidade presente no alimento, com a expansão efetiva dos produtos, com a concentração dos ingredientes presente, a aplicação de aromatizantes e a utilização de embalagens adequadas (BORBA; MENEGAT; THOMÉ, 2010).

A crocância dos produtos extrudados está relacionada com o teor de umidade final, a qual pode ser encontrada entre 4% a 8% (CARVALHO;

ASCHERI, 2004). Há diversos parâmetros que determinam o quanto o alimento pode ser mais ou menos crocante, como a textura, a composição e a atividade de água no produto, entre outros.

2.13 Análise sensorial

A indústria de alimentos sempre se preocupou com a qualidade sensorial de seus produtos, entretanto, os métodos utilizados para medi-la variaram em função do estágio de evolução tecnológica da indústria (FREITAS, 2012)

A análise sensorial é um dos métodos aplicado à indústria de alimentos que avaliam as características sensoriais no desenvolvimento de novos produtos com relação à aceitabilidade do consumidor. A competição entre indústrias no mercado leva a uma necessidade de aperfeiçoamento da qualidade de seus produtos. As técnicas da análise sensorial têm grande aplicação nesse processo. Para comparar um mesmo produto com formulações diferentes, o teste de aceitação pode ser utilizado com uso da escala hedônica de 0 a 9 pontos, aplicado ao produto testado (CHAVES; SPROESSER, 1993).

Na escala hedônica, o provador expressa sua aceitação pelo produto, seguindo uma escala previamente estabelecida que varia gradativamente com base nos atributos gostar e desgostar. A preferência é implícita neste caso. Há diferentes tipos de escala hedônica, como as verbais “gostar extremamente”/ “desgostar extremamente”, “excelente”/“péssimo” e a escala hedônica. Nas escalas do tipo verbal, a escolha das palavras ou frases que vão identificar os intervalos na escala é de grande importância, uma vez que essa associação verbal não somente deverá dar uma ordem de ordem sucessiva dos intervalos na escala, como também facilitar a decisão do provador em suas respostas. Os pontos da escala são associados a valores numéricos, possibilitando a análise

estatística dos resultados por meio da análise de variância e de outras técnicas (CHAVES; SPROESSER, 1993).

A aceitabilidade de um produto tipo *pellets* está relacionada com as características sensoriais textura, aparência e sabor. A textura é um fator de grande importância na comercialização dos *pellets* e, dentre os parâmetros que o compõem, a crocância é a característica mais importante, sendo influenciada pelas condições de extrusão de cada indústria e o teor de umidade dos produtos já embalados (LIMBERGER, 2006).

Produtos extrudados possuem variedades de formas, texturas e sabores, e a sua aceitabilidade está diretamente relacionada com as características sensoriais. Em geral, os extrudados são produzidos com grits de milho, enquanto que com o uso de grits de arroz são relativamente raros (BOONYASIRIKOOL; CHARUNUCH, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O material e os métodos para elaboração e avaliação dos extrudados de grits de milho e de arroz com adição de gergelim em grão e torta desengordurada encontram-se citados abaixo.

3.1 Local

O experimento foi desenvolvido nos laboratórios de Reologia e de Moagem da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ. As análises químicas e sensoriais foram efetuadas nos laboratórios de Análise de Alimentos e de Análise Sensorial da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG.

3.2 Obtenção das matérias primas

O gergelim foi fornecido pela Embrapa Algodão (Campina Grande, PB). No laboratório da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Ilha do Fundão) foi obtida a torta semidesengordurada de gergelim.

O milho na forma de grits comercial foi doado pela GEM Alimentos (Goiânia) e o grits, ou grãos quebrados de arroz, foram doados pela Empresa Beneficiadora de Arroz Josapar (RS).

3.3 Caracterização química do gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, grits de milho e grits de arroz

A caracterização das matérias-primas (gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, grits de milho e grits de arroz) são descritas abaixo.

3.3.1 Delineamento experimental e análise estatística das matérias-primas

Para realizar a caracterização inicial dos componentes das matérias-primas consideraram-se os quatro materiais como tratamentos, sendo feitas quatro repetições de cada, utilizando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000), as médias das matérias-primas foram comparadas pelo teste de Tukey (5%), quando houve efeito significativo do teste F.

3.3.2 Composição centesimal

Na composição centesimal do gergelim em grão, do grits de milho, do grits de arroz e da torta de gergelim semidesengordurada, inicialmente, foi determinada a umidade em estufa, a 105 °C, até o peso constante das amostras, segundo o método n° 925.09 da Association of Official Analytical Chemistry, AOAC (2000). A fração \square uperfíc foi obtida pela determinação da percentagem de nitrogênio total da amostra, segundo o método de Kjeldahl n° 920.87 AOAC (2000) e multiplicado pelos fatores 5,40, gergelim e torta; 6,25, milho e 5,95, arroz. O extrato etéreo foi determinado segundo o método n° 925.38 (AOAC, 2000), utilizando-se éter etílico como extrator e a fibra bruta, pelo método gravimétrico de Van Kamer e Ginkel (1952). Para a fibra alimentar, empregou-se o método n° 985.29 (AOAC, 1997). O resíduo mineral fixo (cinzas) foi determinado por incineração do material em mufla regulada a 550 °C, até peso constante, segundo método n° 923.03 da AOAC (2000) e a fração glicídica foi obtida pelo método da diferença, segundo a equação $\%F.G. = 100 - (U + EE + P + F + C)$, sendo FG = fração glicídica (%), U = umidade, EE = extrato etéreo (%); P = proteína (%); F = fibra bruta (%) e C = cinzas (%), considerando a matéria integral, segundo método da AOAC (1990). Para a obtenção do valor

calórico, foram utilizados fatores de conversão de Atwater: 4 kcal/g para proteína, 4 kcal/g para carboidratos e 9 kcal/g para lipídeos, de acordo com a equação: $VC = (\% \text{ proteína} \times 4,0) + (\% \text{ extrato etéreo} \times 9,0) + (\% \text{ carboidratos} \times 4,0)$, conforme Osborne e Voogt (1978).

3.3.3 Determinação de minerais

O teor de minerais foi determinado pelo método de digestão por micro-ondas marca Millestone (EUA) e a leitura segundo a AOAC (2000). Os elementos sódio, zinco, cobre, magnésio, ferro, manganês, fósforo, potássio e cálcio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com chama de acetileno, enquanto o potássio foi determinado por fotometria de chama, conforme a metodologia estabelecida por Sarruge e Haag (1974) e Malavolta; Vitti; Oliveira (1989).

3.3.4 Aminoácidos

O perfil de aminoácidos (ácido aspártico, serina, ácido glutâmico, glicina, histidina, alanina, prolina, tirosina, valina, lisina, isoleucina, leucina e fenilalanina) foi determinado segundo o método nº 994.12 AOAC (2000), sendo a quantificação dos aminoácidos realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE), modelo Alliance, marca Waters 2695, com detector de fluorescência modelo Alliance, Waters 2475.

3.3.5 Determinação granulométrica das matérias-primas

Para a determinação da granulometria, foram peneirados 100 g de grits de milho, 100 g de grits de arroz, 100 g de gergelim em grão, 100 g de torta de gergelim desengordurada e colocados na parte superior do conjunto de peneiras

do aparelho marca Granutest, modelo Produtest, Brasil, com 10, 40, 60, 80, 100, 140 e 200 “mesh Tyler” (abertura das malhas de 2,00; 0,420; 0,250; 0,177; 0,149; 0,105 e 0,074 mm, respectivamente) e a base. O tempo adotado para o teste foi de 10 minutos e a velocidade de agitação ajustada para máxima. As frações retidas em cada peneira foram pesadas em balança semianalítica marca Shimadzu, modelo BL 32004, Kyoto, Japão, fornecendo as percentagens do produto em cada faixa de granulometria, conforme Ward; Shallenberger; Wetzel (1979).

3.3.6 Tratamentos e delineamento experimental

Para a formação dos tratamentos, em cada tipo de *pellet* foi utilizado o delineamento composto central rotacional de 2ª ordem, conforme Cochran; Cox (1957), com 13 tratamentos para cada produto não expandido direto (*pellets*), sendo o ponto central repetido cinco vezes com as variáveis independentes umidade, teor de gergelim em grão e ou teor de torta de gergelim desengordurada (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978). Na formação dos tratamentos, o teor de gergelim em grão variou de 0,092% a 24,9%, o teor de umidade de 24,93% a 39,07% e o teor de torta de gergelim desengordurada, de 0,01% a 34,99%. Para cada variável dependente ou resposta obtida, em qualquer dos quatro tipos de *pellets*, utilizou-se a análise de regressão para expressar o efeito das variáveis independentes. O modelo de regressão linear múltipla geral utilizado para prever o comportamento foi $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_{11} X_{1i}^2 + \beta_{22} X_{2i}^2 + \beta_{12} X_{1i} X_{2i} + \epsilon_i$

em que

Y_i = representa a variável observada;

X_1 = representa o efeito linear da umidade;

X_1^2 = representa o efeito quadrático da umidade;

X_2 = representa o efeito linear de uma das variáveis GG, TGD;

X_2 = representa o efeito quadrático de uma das variáveis GG, TGD;

X_1X_2 = representa a interação linear entre umidade e uma das variáveis independentes GG, TGD;

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{12}$ são os coeficientes de regressão a serem estimados;

ϵ_i = representa o erro experimental associado à observação Y_i e considerado como independente e normalmente distribuído, com média zero e variância constante.

Sendo assim, todas as análises estatísticas, com exceção das análises sensorial, centesimal e minerais, foram avaliadas pelo método de superfície de respostas, para estudar o efeito das variáveis independentes sobre as dependentes ou respostas. A média das variáveis respostas foi seguida da determinação da análise de variância, segundo a metodologia preconizada por Box; Wetz (1973).

O experimento foi conduzido num delineamento fatorial (2^2) com dois fatores ou variáveis independentes (umidade e gergelim em grão e/ou torta de gergelim) que têm as respostas ou variáveis dependentes fixadas. Tanto os níveis codificados ($-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$) quanto os fatores ($X_1; X_2$) têm seus valores mostrados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 Níveis codificados das variáveis independentes estudadas no processo de elaboração dos extrudados não expandidos direto com adição de gergelim em grão.

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha = 1,41$	-1	0	+1	$+\alpha = 1,41$
X_1^*	24,93	27	32	37	39,07
X_2^{**}	0,092	3,7	12,5	21,3	24,90

Teor de umidade (X_1^*), teor de gergelim em grão (X_2^{**}); pontos axiais $\pm\alpha = \pm 1,41$; pontos máximos e mínimos = ± 1 e ponto central $C = 0$

Tabela 2 Níveis codificados das variáveis independentes estudadas no processo de elaboração dos extrudados não expandidos com grits de milho e grits de arroz com torta de gergelim desengordurada.

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha= 1,41$	-1	0	+1	$+\alpha= 1,41$
X_1^*	24,93	27	32	37	39,07
X_2^{**}	0,01	5,13	17,5	29,87	34,99

Teor de umidade (X_1^*), teor de torta de gergelim desengordurada (X_2^{**}); pontos máximos e mínimos = ± 1 e ponto central $C = 0$

As análises estatísticas de cada variável resposta foram realizadas com o auxílio do programa computacional Statistica (LEWICKI, 2012), tendo o modelo sido ajustado utilizando-se a técnica Backward (BOX; DRAPER, 1967), que permite examinar o melhor modelo de regressão eliminando-se os termos não significativos. Para avaliação da significância de um dado coeficiente de regressão, considerou-se a probabilidade de significância de 5% ($P < 0,05$), com exceção de alguns casos e considerando, inclusive, algumas interações. A partir da equação de regressão obtida por esta técnica foi possível elaborar gráficos tridimensionais de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível, com auxílio do programa computacional Statistica 8.0 (Stat Soft, Tulsa, EUA).

3.4 Elaboração dos produtos extrudados não expandidos (*pellets*)

Foram elaborados quatro tipos de *pellets*: (I) de grits de milho com gergelim em grão, (II) de grits de arroz e gergelim em grão, (III) de grits de milho com torta de gergelim semidesengordurada e (IV) com grits de arroz e torta desengordurada, contendo os ingredientes nas proporções descritas nas

Tabelas 5 e 6, respectivamente. Os ingredientes de cada tratamento foram pesados em balança semianalítica de marca Mettler Toledo/SB 12001 e, em seguida, foi adicionada água. A umidade dos tratamentos dos *pellets* de cada delineamento variou de 24,93% a 39,07%; o teor de gergelim em grão, de 0,092% a 24,93% e o teor de torta desengordurada, de 0,01% a 34,99%.

O cálculo da quantidade de água de cada tratamento foi descrito pela equação 1 ($Y = (U_f - U_i) \times Pa / 100 - U_f$), na qual Y = a quantidade de água a ser adicionada (ml); U_f = umidade final da amostra (%); U_i = umidade inicial da amostra (%) e Pa = peso da amostra (g). Após a umidificação das amostras, estas foram homogeneizadas em sacos plásticos de polietileno e acondicionadas em geladeiras por um tempo de 24 horas, à temperatura de 18 °C. Em seguida, as misturas foram processadas em uma extrusora 19/20 DN Brabender (Duisburg, Alemanha). Os parâmetros mantidos constantes foram: velocidade de rotação do parafuso a 100 rpm; taxa de alimentação 0,2 kg/h; temperatura zona 1 = 60 °C, zona 2 = 100 °C e zona 3 = 85 °C (da zona de alimentação à saída); matriz laminar com espessura de 1 mm e parafuso taxa de compressão 3:1.

Durante o processo de extrusão foi determinada a vazão (kg/h) em cada tratamento, por 30 segundos, no início, no meio e no fim do processo de extrusão. Após o processo de extrusão, os *pellets*, na forma de fitas, foram armazenados em freezer, por 24 horas e cortados manualmente, em pedaços de 3 cm de comprimento, com auxílio de uma tesoura. Após o corte, os *pellets* foram submetidos à secagem em estufa com ar forçado Pextroterm (São Leopoldo, Brasil), a 40 °C, por 24 horas. Cerca de 100 g de *pellets* foram reservados para fritura em frigideira elétrica marca Walita, à temperatura de 180 °C, por um tempo de 15 segundos. Como forma de ilustração, na Figura 2 é apresentado o fluxograma de obtenção dos pellets de grits de milho, de grits de arroz com adição de gergelim em grão (GG) e torta de gergelim desengordurada (TGD).

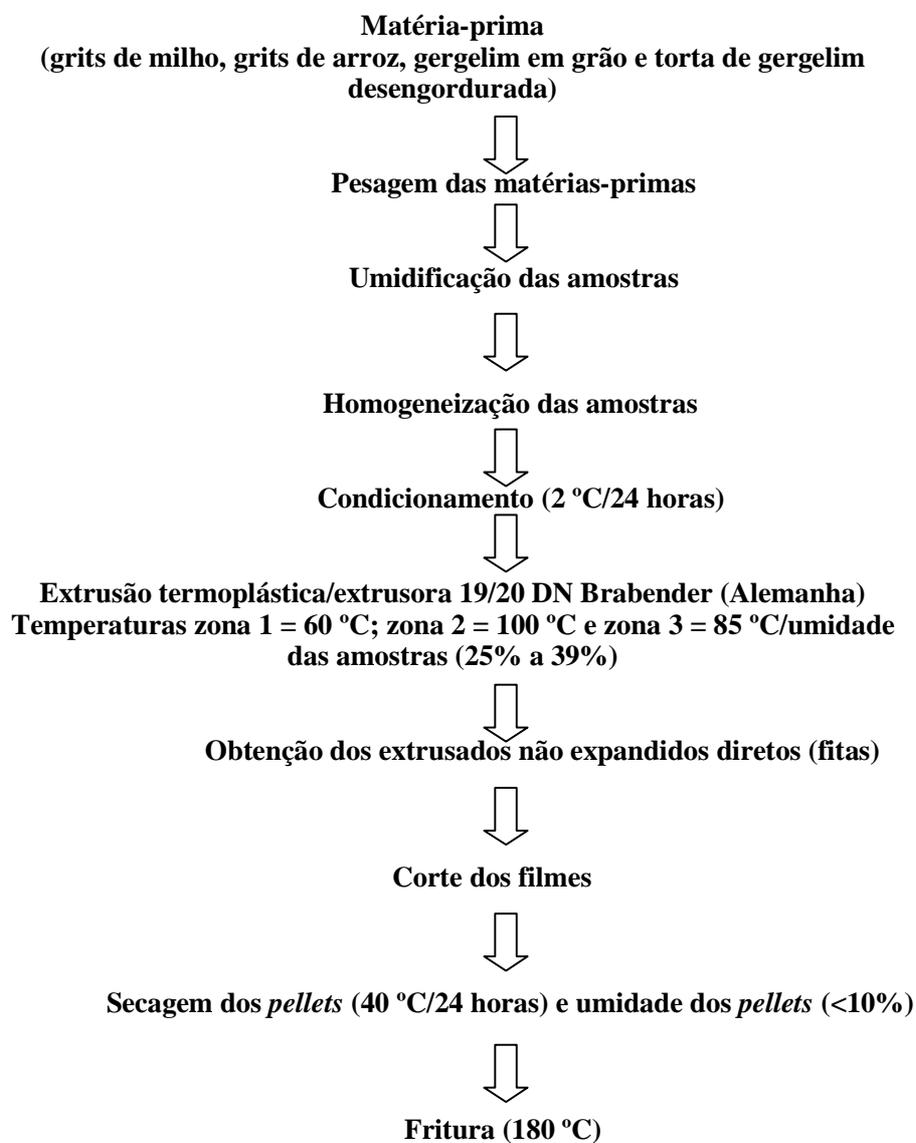


Figura 2 Fluxograma de processo dos *pellets* de grits de milho, de grits de arroz com adição de gergelim em grão ou torta de gergelim desengordurada

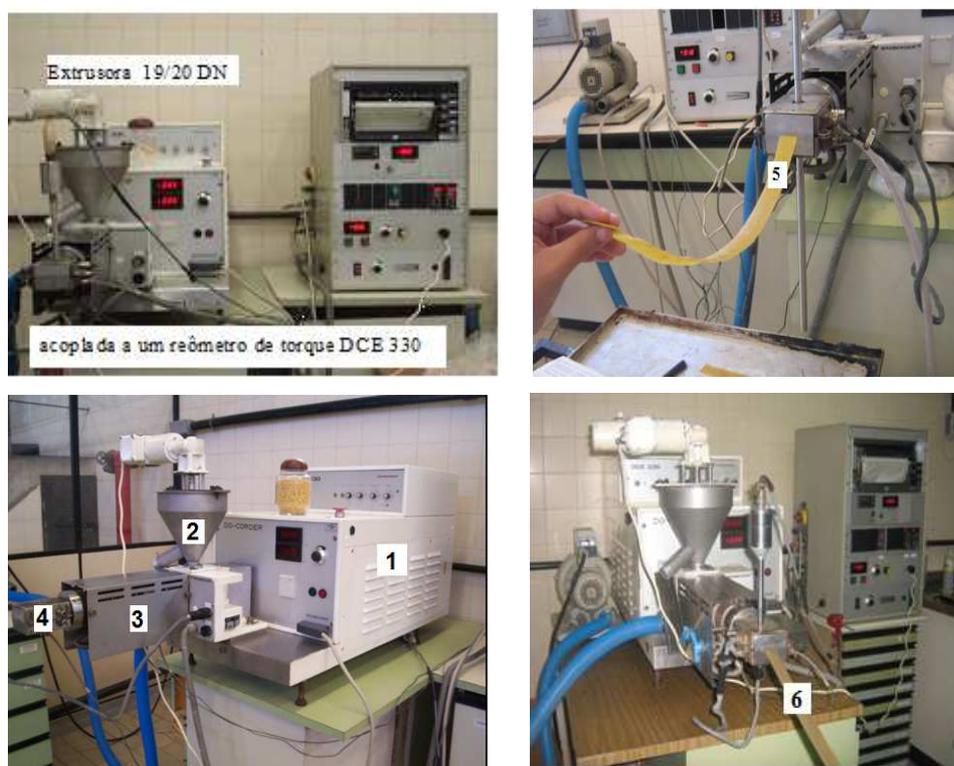


Figura 3 Extrusora 19/20 DN acoplada a um reômetro de torque DCE 330, ambos da marca Brabender (Duisburg, Alemanha), em processamento de milho e de arroz, para a elaboração de *pellets*. Parte elétrica (1); sistema de alimentação (2); cilindro com parafuso e mecanismo de acionamento (3); matriz (4) e produtos extrudados (*pellets*) de grits de milho e grits de arroz com gergelim (5 e 6)

3.5 Preparo das amostras dos pellets para análises

Após a etapa de secagem, aproximadamente 250 g de *pellets* foram separados e moídos em moinho de disco marca Laboratory Mill 3.600 (Hunddige, Suécia), com peneira de 3 mm e, em seguida, moídos em moinho granulador de facas e martelos, malha de 1 mm, marca Treu, 7,5 cv, modelo M-

738-311. Cerca de 100 g dos *pellets* foram reservados para fritura em frigideira elétrica marca Walita (Brasil), com adição de gordura marca “Palma”, à temperatura de 180 °C, por 15 segundos e foram analisados densidade aparente, porosidade, densidade absoluta e índice de expansão volumétrica.

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

As determinações do ISA e do IAA foram realizadas segundo a metodologia descrita por Anderson, Pfeifer e Griffin Jr. (1969). Esta análise demonstra o índice de solubilidade e o índice de absorção em água do material extrudado. Cerca de 1 g de cada amostra (em base úmida de amido) foi pesado em tubos de centrífuga previamente tarados, e adicionaram-se cerca de 10 ml de água destilada, agitando-se e homogeneizando-se completamente o material com a água. Após adição da água destilada, os tubos foram agitados mecanicamente em um agitador de tubos de ensaio tipo vortex, para garantir a homogeneização perfeita do material. Posteriormente, foram agitados, por 30 minutos, em “agitador recíproco” horizontal mecânico, Eberback 625, tipo Shaker Bath (São Paulo, Brasil), à temperatura ambiente e foram processados em centrífuga marca Hermle modelo Z 383, por 10 minutos, a 3.500 rpm. O sobrenadante foi vertido em placas de Petri previamente taradas e secas em estufa com circulação de ar forçado, a 105 °C (Fabbe modelo 170, São Paulo, Brasil), até peso constante ou por 4 horas. O cálculo do ISA foi realizado seguindo a equação 1:

$$ISA = \left(\frac{\text{Peso do desidratado}}{\text{Peso original da amostra}} \right) \times 100 \quad \text{equação 1.}$$

Os tubos retirados da centrífuga já sem o sobrenadante foram pesados e, juntamente com o peso da amostra e o peso do resíduo solubilizado na água destilada, encontrou-se o índice de absorção de água pelo material extrudado, segundo a equação 2.

$$\text{IAA} == \left(\frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso original da amostra}} \right) \quad \text{equação 2.}$$

o qual é representado em g gel/ g de matéria seca.

b) Viscosidade de pasta

Para a determinação da viscosidade de pasta foi utilizado o analisador rápido de viscosidade (Rapid Viscosity Analyser, RVA, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Austrália), seguindo a metodologia para materiais extrudados. As amostras sob a forma de farinha foram analisadas no RVA e foram utilizadas para medir a viscosidade de pasta aparente em função da temperatura. Para 3 g de cada amostra foi ajustada a umidade para 14%, com a adição de 25 g de água destilada. As amostras dos *pellets* de grits de milho e grits de arroz com gergelim em grão e com torta de gergelim desengordurada foram ajustadas de forma a garantir uma razão constante entre a água e as farinhas mistas. Para a medida propriamente dita, a suspensão foi mantida a 25 °C, por 4 minutos, para que se pudesse investigar a viscosidade do amido à baixa temperatura (WHALEN et al., 1997; ARÁMBULA et al., 1998). Posteriormente, a mistura foi aquecida a 95°C, sob uma taxa de aquecimento constante de 14 °C/min, mantida nesta temperatura por 3 minutos e resfriada, a 25 °C, durante 5 minutos, sob a mesma taxa e mantida a 25 °C, por mais 4 minutos, totalizando 20 minutos de análise, a 160 rpm.

3.6 Análises dos pellets

Os extrudados de gergelim em grão e torta de gergelim desengordurada são analisados segundos as análises abaixo citadas.

a) Densidade absoluta dos *pellets* antes da fritura

O equipamento utilizado para a determinação da densidade absoluta dos *pellets* foi o picnômetro a gás hélio da Micromeritics®, modelo Accupyc 1330 (EUA). A metodologia utilizada foi de deslocamento de gás hélio (WEBB; ORR, 1997).

b) Densidade aparente antes e pós-fritura

A densidade aparente é uma forma indireta de verificar os níveis de expansão dos extrudados fritos e medir sua densidade. Assim pelo método de deslocamento da massa ocupada (semente de painço) e de seu volume determinado em proveta graduada conforme Ramirez; Wanderlei (1997) utiliza-se a equação 3 .

$$D_a = p/v \quad \text{equação 3.}$$

Em que D_a = densidade aparente; p = peso; v = volume.

A densidade dos *pellets* foi feita antes e após a fritura, utilizando-se uma proveta de 500 ml com semente de painço, por ser menor, mais uniforme e resultar em menor espaço entre as sementes e as amostras. Inicialmente, encheu-se a proveta com as sementes de painço, aferiu-se e pesaram-se, aproximadamente, 300 g. Em seguida, retirou-se uma parte das sementes e colocaram-se os *pellets* fritos. O restante das sementes que sobraram foi pesado e calculou-se o volume conforme fórmula citada por Ramírez e Wanderlei (1997).

c) Porosidade dos *pellets* antes da fritura

A fração de vazios ou porosidade dos *pellets* foi determinada para corrigir o fato de as densidades absoluta e aparente não considerarem a umidade de partícula (TAKEITI, 2007). O equipamento utilizado foi o picnômetro de gás hélio descrito por Webb e Orr (1997).

d) Índice de expansão volumétrica dos pellets

O índice de expansão volumétrica dos *pellets* foi calculado dividindo-se o volume dos *pellets* fritos (expandidos) pelo volume dos *pellets* não fritos (extrudados secos não expandidos). O volume de ambos foi determinado pelo método de deslocamento das sementes de painço em proveta graduada. As análises foram realizadas em triplicatas, utilizando-se a metodologia descrita por Ascheri e Carvalho (1997). O índice de expansão volumétrica (IEV) foi calculado pela equação 5.

$$\text{IEV} = \left(\frac{\text{volume "pellets" expandidos}}{\text{volume "pellets" não expandidos}} \right) \quad \text{Equação 5}$$

e) Textura dos extrudados após a fritura

A análise de textura foi realizada utilizando-se a metodologia descrita por Bouvier, Bonneville e Goullieux (1997). Foi utilizado um texturômetro TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) nos *pellets* fritos, o qual permitiu avaliar o grau de crocância. Utilizou-se, para o corpo de prova (*probe*), célula de carga com capacidade de 50 kg. Na análise foram avaliados os parâmetros: força de compressão, superfície de ruptura, força específica de ruptura e trabalho, conforme a metodologia descrita por Bouvier (1977). A operação do aparelho seguiu as seguintes condições, determinadas pela metodologia oficial segundo Paes, Modesta e Gama (2004), adaptada por Mamede et al. (2006) conforme o modelo aplicado (máxima força em compressão); velocidade do pré-teste (5 mm/s); velocidade do teste (1 mm/s) e velocidade de pós-teste (10,0 mm/s). As amostras foram perfuradas pelo *probe*, a uma distância de 4,5 mm e realizadas cinco leituras para cada tratamento. Quanto à crocância são quatro os critérios para investigar e interpretar os resultados: força de compressão, superfície de ruptura, força específica de

ruptura e trabalho, conforme a metodologia descrita por Bouvier (1977). A operação do aparelho seguiu as seguintes condições, segundo a metodologia de Paes, Modesta e Gama (2004), adaptada por Mamede et al. (2006).

I) força de compressão; $F = A/d$, avaliada em N;

II) superfície de ruptura; $N_{Sr} = N_o/d$, em mm^{-1} ;

III) medida da força específica das rupturas $F_{sr} = \Delta F / N_o$, em N;

IV) trabalho de crocância, $W_c = F/N_{Sr}$, em N.mm, em que A é a área em deslocamento; d é o deslocamento; N_o é o número de picos; ΔF é a força associada a cada pico; N é Newton.

f) Análise instrumental da cor

A determinação da cor dos *pellets* pós-fritura foi realizada com o aparelho colorímetro Chroma meter CR-400 (Konica Minolta, Japão), sistema L^* ; a^* ; b^* da Commission Internationale de Eclairage, CIEL (1978). A determinação foi feita por reflectância e os parâmetros de cor medidos em relação à placa de cor branca ($L = 34,15$; $a^* = 3,66$ e $b^* = 1,67$) e comparados com as cores L^* a^* b^* de extrudados de milho de marcas comerciais (A, B e C). A luminosidade (L^*) mede a claridade ou a luminosidade das amostras, variando de preto (0) a branco (100). As coordenadas a^* e b^* definem a cromaticidade das amostras, sendo a^* correspondente à variação das cores vermelha (+60) e verde (-60). O croma b^* varia de cor amarela (+60) a cor azul (-60). O cálculo para expressar a diferença de cor que foi obtida pelo ângulo Hue (H°), de acordo com valores de a^* e b^* , foi feito segundo as recomendações de McGuire (1992).

g) Análise sensorial

Os extrudados não expandidos direto foram analisados, quanto ao teste de aceitação, por escala hedônica, no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A análise dos *pellets* foi determinada seguindo-se os atributos aparência, sabor, textura e aspecto global. O teste

afetivo foi aplicado a 80 provadores não treinados, entre alunos, professores e funcionários da UFLA, escolhidos aleatoriamente. Os provadores receberam seis amostras dos diferentes tratamentos dos *pellets*, em diferentes dias. Juntamente com as amostras, eles receberam uma ficha de teste de aceitação em escala hedônica estruturada com nove pontos, na qual os gradientes variaram de “gostei extremamente” a “desgostei extremamente”, correspondendo a valores de 9 a 1, segundo Dutosky (1996). Além disso, preencheram uma escala de 5 pontos para intenção de compra, sendo: certamente compraria (5), provavelmente compraria (4), talvez compraria (3), provavelmente não compraria (2) e certamente não compraria (1). A ficha do teste de aceitação encontra-se no Anexo A.

3.7 Delineamento experimental e análise estatística dos 12 tratamentos e dos 4 melhores tratamentos escolhidos da análise sensorial

Dos 52 tratamentos de extrudados após a extrusão (antes da fritura), foram escolhidos 12 para caracterização, com 4 repetições. Após a fritura, foram analisados sensorialmente e escolhidos os quatro melhores, com quatro repetições de cada. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000) e as médias das matérias-primas foram comparadas pelo teste de Tukey (5%), quando houve efeito significativo do teste F.

3.8 Análises utilizadas no experimento

Tabela 3 Quadro de análises que foram efetuadas durante o experimento dos extrudados.

Análises	Matérias-primas				<i>Pellets crus</i>	<i>Pellets fritos</i>
	GG	TGD	GA	GM		
CC	X	X	X	X	X	X
Minerais	X	X	X	X	X	X
Aas	X	X	X	X	-	-
Análise sensorial	-	-	-	-	-	X
Vazão	-	-	-	-	X	-
ISA	-	-	-	-	X	-
IAA	-	-	-	-	X	-
DABS	-	-	-	-	X	-
Po	-	-	-	-	X	-
DAF	-	-	-	-	X	-
DPF	-	-	-	-	-	X
IEV	-	-	-	-	X	X
FC	-	-	-	-	-	X
FR	-	-	-	-	-	X
FSR	-	-	-	-	-	X
TC	-	-	-	-	-	X
L*	-	-	-	-	-	X
Croma a*	-	-	-	-	-	X
Croma b*	-	-	-	-	-	X
ΔE	-	-	-	-	-	X
VIP	-	-	-	-	X	-
VMAX	-	-	-	-	X	-
<i>BRECKDOWN</i>	-	-	-	-	X	-
<i>SETBACK</i>	-	-	-	-	X	-

Composição centesimal (CC); gergelim em grão (GG); torta de gergelim desengordurada (TGD); grits de milho (GM); grits de arroz (GA); aminoácidos (Aa); índice de solubilidade em água (ISA); índice de absorção em água (IAA); densidade absoluta (DABS); porosidade (Po); densidade antes da fritura (DAF); densidade pós-fritura (DPF); índice de expansão volumétrica (IEV); força de compressão (FC); força de ruptura (FR); força específica de ruptura (FSR); trabalho de crocância (TC); luminosidade (L*); cromaticidade a*; cromaticidade b*; diferença de cor (ΔE); viscosidade inicial de pasta (VIP); viscosidade máxima (VMAX).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e as discussões dos extrudados elaborados com grits de milho e de arroz com adição de gergelim e torta desengordurada estão apresentados abaixo.

4.1 Composição centesimal das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas para a elaboração dos *pellets* foram submetidas às análises para determinação da composição centesimal. Os resultados de umidade, extrato etéreo, proteínas, fibra alimentar, cinzas e fração glicídica e valor calórico do gergelim em grão são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Valores médios¹, em g 100g⁻¹, de umidade, extrato etéreo, proteína, fibra bruta, fibra alimentar, cinzas, fração glicídica (ENN) e valor calórico das matérias-primas gergelim em grão (GG), torta de gergelim desengordurada (TGD), grits de milho (GM) e grits de arroz (GA).

Variáveis	Matérias-primas			
	b.u (g100g ⁻¹)			
Umidade	5,21 d	8,39 c	13,22b	16,68 a
Extrato etéreo	47,24 a	7,49 b	0,62c	0,78 c
Proteína	17,86 b	31,66 a	5,41c	5,81 c
Fibra alimentar	25,75 b	33,00 a	5,63c	2,61 d
Cinzas	5,00 b	8,01 a	0,43c	0,42 c
ENN	16,06 b	11,45 c	74,69 ^a	73,75 a
Valor calórico	491,35 a	239,85 d	325,98b	321,90 c

Médias de quatro repetições seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%). Dados expressos em base úmida (b.u.). Proteína = NX 5,40 oleaginosas, NX 6,25 milho, N X 5,95 arroz; ENN = extrato não nitrogenado ou fração glicídica e valor calórico expresso em kcal/100g.

Observa-se que houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) para o teor de umidade em relação às matérias-primas. Contudo, a umidade do gergelim em grão neste trabalho foi de 5,21 g 100g⁻¹ (b.u.), valor inferior aos dos trabalhos de Arriel, Vieira e Firmino (1999), de 5,40 g 100 g⁻¹ e de Epstein (2000), 5,40 g 100 g⁻¹ e superior ao do trabalho de Eleuch et al. (2007) 4,71 g 100 g⁻¹.

Com relação ao teor de extrato etéreo, de proteína, de fibra bruta, de fibra alimentar, de cinzas, de ENN e de valor calórico, os valores encontrados diferem significativamente entre si ($P \leq 0,05$), para o GG e para o teor de TGD.

O grits de milho e o grits de arroz não diferiram entre si, para os valores de extrato etéreo, proteína, fibra bruta, cinzas e ENN ($P>0,05$), mas diferiram para a fibra alimentar e o valor calórico.

O valor médio de extrato etéreo do gergelim em grão neste trabalho foi de 47,24 g 100 g⁻¹ (b.u.), considerado superior ao encontrado por Dantas et al. (2010), de 44,77 g 100 g⁻¹; por Arriel, Vieira e Firmino (1999), 46,45 g 100 g⁻¹; por Epstein (2000), 46,45 g 100 g⁻¹ e inferior ao relatado por Primo (2008), de 49,46 g 100 g⁻¹.

Já o valor de proteína foi de 17,86 g 100 g⁻¹ (b.u.), superior ao relatado por Arriel, Vieira e Firmino (1999), de 17,60 g 100 g⁻¹ e inferior, quando comparado ao relatado por Primo (2008) 18,88 g 100 g⁻¹.

O valor de fibra alimentar da semente de gergelim encontrado neste trabalho foi de 25,75 g 100 g⁻¹, considerado superior ao encontrado por Lima et al. (2006), de 11,33 g 100 g⁻¹.

Epstein (2000) trabalhou com gergelim e encontrou 5,01 g 100 g⁻¹ de cinzas; Arriel, Vieira e Firmino (1999) encontraram 5,00 g 100 g⁻¹, valor considerado similar ao encontrado neste trabalho, de 5,00 g 100 g⁻¹ e inferior ao encontrado por Primo (2008), 4,95 g 100 g⁻¹ e por Eleuch et al. (2007), 4,46 g 100g⁻¹.

Arriel, Vieira e Firmino (1999) trabalharam com gergelim e encontraram 20,43 g 100 g⁻¹ de fração glicídica, enquanto Primo (2008) encontrou 14,58 g 100 g⁻¹ e Epstein (2000) encontrou 20,43 g 100 g⁻¹. Portanto, ao considerar o valor da fração glicídica encontrada neste trabalho, 16,06 g 100 g⁻¹, percebe-se que este é superior aos valores de Primo (2008) e inferior aos valores de Arriel, Vieira e Firmino (1999) e Epstein (2000).

Contudo, chama-se a atenção para os valores de extrato etéreo, proteína e fibra alimentar do gergelim em grão e da torta de gergelim desengordurada, os quais são bem superiores em relação às outras matérias-primas (grits de milho e de arroz), justificando a utilização dos mesmos para

enriquecer a composição dos extrudados não expandidos diretos (motivo desta pesquisa).

A riqueza dos carboidratos (ENN) no grits de milho e no grits de arroz justifica a utilização dos mesmos como tradicional fonte amilácea dos extrusados.

4.2 Granulometria

Os resultados encontrados para a granulometria das matérias-primas gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, grits de milho e grits de arroz encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 Porcentagem de retenção obtida na análise granulométrica das matérias-primas (gergelim em grão (GG), torta de gergelim desengordurada (TGD), grits de milho (GM) e grits de arroz (GA)).

Peneira ABNT	Abertura /mm	Tyler	Matérias-primas			
			GG	TGD	GM	GA
10	2,000	09	0,070	-	-	-
40	0,420	35	99,93	49,22	97,50	92,36
60	0,250	60	-	29,31	1,14	6,53
80	0,177	80	-	16,74	0,60	0,97
100	0,149	100	-	4,27	0,57	0,03
140	0,105	150	-	0,46	0,12	0,03
200	0,074	200	-	-	0,04	0,05
Fundo	-	-	-	-	0,03	0,03

GG = gergelim em grão; TGD = torta de gergelim desengordurada; GM = grits de milho e GA= grits de arroz

Na peneira de 40 (abertura 0,420 mm) ficou retida a maior parte das matérias-primas, sendo gergelim em grão, com 99,93%; torta desengordurada, 49,22%; grits de milho e grits de arroz, percentuais de partículas 97,50% e 92,36%, respectivamente. Os demais percentuais estão distribuídos nas outras peneiras de 0,250 a 0,074 mm, exceto o gergelim em grão.

Segundo Ascheri (2006), a uniformidade no tamanho das partículas dos ingredientes permite um cozimento adequado e uniforme durante o processo de extrusão, prevenindo dureza ou cozimento parcial no produto final. Se o tamanho das partículas da matéria-prima variar de forma significativa, o produto final poderá conter partículas indesejáveis com diferentes graus de cocção, o qual diminui a qualidade, tanto na aparência como na palatabilidade.

4.3 Minerais

As concentrações de potássio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, nitrogênio, boro, cobre, manganês, zinco e ferro das matérias-primas (gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, grits de milho e grits de arroz) encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 Teores médios¹ dos macrominerais das matérias-primas (gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, grits de milho e grits de arroz).

Macrominerais (µg/100 g)						
Matéria-prima	K	P	Ca	Mg	S	N
GG	570 b	720 b	1100 b	380 b	290 b	3173b
TGD	980 a	940 a	2630 a	500 a	560 a	5373 ^a
GM	60 c	50 d	-	10 d	80 d	1243d
GA	60 c	110 c	-	30 c	90 c	1713c

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey GG = gergelim em grão; TGD = torta de gergelim desengordurada; GM = grits de milho e GA = grits de arroz

Os resultados obtidos dos teores de macrominerais (Tabela 6) mostram que, no geral, as matérias-primas diferem quanto a esses elementos. Verificou-se que não houve diferença nos teores de K nas matérias-primas grits de milho e grits de arroz. Já o potássio, o cálcio, o magnésio, o enxofre e o nitrogênio diferiram significativamente entre si, nas quatro matérias-primas (GG, TGD, GM e GA), a 5% de propabilidade.

Dentre as matérias-primas analisadas, o gergelim em grão e a torta de gergelim desengordurada destacaram-se com alta quantidade de cálcio e dos demais macronutrientes analisados. Portanto, pode-se utilizá-lo em dietas humanas e na elaboração de produtos industrializados, como, por exemplo, os extrudados não expandidos diretos.

Tabela 7 Teores médios¹ dos microminerais do gergelim em grão, torta de gergelim desengordurada, grits de milho e grits de arroz.

Matéria-prima	Microminerais (µg/kg)			
	Cu	Mn	Zn	Fe
GG	32,20 c	19,00 b	63,63 b	138,60 b
TGD	50,30 b	77,07 a	129,07 a	317,13 a
GM	16,93 d	1,57 d	4,33 d	65,50 c
GA	60,53 a	11,23 c	21,07 c	61,63 d

¹Médias de quatro observações seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey GG = gergelim em grão; TGD = torta de gergelim desengordurada; GM = grits de milho e GA= grits de arroz.

Conforme os dados da Tabela 7, os microminerais apresentados no gergelim em grão, na torta de gergelim desengordurada, no grits de milho e no grits de arroz apresentaram diferença significativa, a 5% de probabilidade.

Os minerais em maiores proporções que se destacaram foram o zinco e o ferro, encontrados no gergelim em grão e na torta de gergelim desengordurada. Portanto, pode-se dizer que os mesmos mostraram-se como boa fonte de ferro e de zinco, em comparação às recomendações diárias de 7 mg e 15 mg, citadas por Assao et al. (2004) e Stella (2005), respectivamente.

A ingestão diária de ferro recomendada varia de 7 mg, para crianças até 27 mg, para gestantes (ASSAO et al., 2004).

O maior valor de cobre encontrado neste experimento foi o do grits de arroz e o da torta de gergelim desengordurada. Segundo Vasquez, Herrera e Santiago (2001), a mais importante deficiência de origem mineral, depois do fósforo, é a de cobre.

Quanto ao teor de manganês, a torta de gergelim desengordurada apresentou o maior valor. Segundo a Food Ingredients Brasil (2008), homens com mais de 19 anos devem ingerir 2,3 mg deste mineral, diariamente e mulheres na mesma faixa etária, apenas 1,6 mg/dia.

Portanto, as matérias-primas analisadas devem podem ser incluídas nas dietas e podem ser utilizadas na elaboração de produtos extrudados, devido à sua riqueza em minerais.

4.4 Aminoácidos

Na Tabela 8 são apresentados os valores dos respectivos aminoácidos (ácido aspártico, serina, ácido glutâmico, glicina, histidina, alanina, prolina, tirosina, valina, lisina, isoleucina, leucina e fenilalanina), nas matérias-primas utilizadas na elaboração dos extrudados não expandidos direto (*pellets*).

Tabela 8 Valores de aminoácidos obtidos das matérias-primas gergelim (GG), da torta de gergelim desengordurada (TGD), do grits de milho (GM) e do grits de arroz (GA), em $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de proteína.

Aminoácidos	GG	TGD	GM	GA	FAO (1985)
$\mu\text{g}/100\text{ g}$					
Ácido aspártico	710	660	165	230	-
Serina	520	495	155	145	-
Ácido glutâmico	1845	169	620	450	-
Glicina	555	535	95	125	-
Histidina	315	310	100	70	19
Alanina	480	435	1130	155	-
Prolina	370	350	340	130	-
Tirosina	415	410	140	130	28
Valina	505	455	140	160	25
Lisina	235	240	40	80	44
Isoleucina	345	325	100	95	28
Leucina	695	660	440	205	44
Fenilalanina	645	610	185	165	22

Médias de duas observações GG = gergelim em grão; TGD = torta de gergelim desengordurada; GM= grits de milho e GA = grits de arroz

Fonte: Fernandes (2000) e Maia (1999)

Dos treze aminoácidos apresentados, cinco são essenciais: valina, lisina, isoleucina, leucina e fenilalanina, e oito são não essenciais, aqueles que nosso corpo consegue produzir (MARZZOCO; TORRES, 1999). O grão de gergelim e a torta de gergelim desengordurada apresentaram os maiores percentuais de aminoácidos essenciais.

As necessidades de aminoácidos, atualmente, para seres humanos (adultos), são: histidina, 8-12 mg/kg/dia; tirosina, 14 mg/kg/dia; valina, 10 mg/kg/dia; lisina, 12 mg/kg/dia; isoleucina, 10 mg/kg/dia; leucina, 14 mg/kg/dia e fenilalanina, 14 mg/kg/dia, segundo a FAO (2007).

De acordo com a FAO (1991), uma proteína que apresenta escore maior que valor 1,0 para todos os aminoácidos é considerada uma proteína de alto valor nutricional. Aminoácido que apresente escore menor que 1,0 é chamado de aminoácido limitante.

A lisina é o aminoácido limitante dos cereais e se apresenta com valores baixos no grãos de milho e no grãos de arroz. Apesar de ser aminoácido limitante dos cereais, no grãos de arroz ele apresenta-se com valor superior ao padrão da FAO (1991).

A elaboração de produtos com teor de aminoácido balanceado é possível com a mistura de milho, arroz e adição de gergelim.

4.5 Composição centesimal dos *pellets* antes da fritura

Dos 52 tratamentos (*pellets*) extrudados, foram escolhidos doze tratamentos para avaliação centesimal. Os parâmetros de avaliação foram as características gerais de aparência, índice de expansão volumétrica pós-fritura, bem como o aspecto visual da textura. Os resultados da umidade, extrato etéreo, proteína, fibra bruta, cinzas, fração glicídica e valor calórico encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 Valores da composição centesimal obtida dos doze tratamentos dos *pellets*, antes da fritura.

Tratamentos	Composição centesimal						
	U	EE	P	FB	C	FG	VCAL
g 100 g ⁻¹							
T1	8,25cd	5,77b	5,77b	5,19b	1,05j	67,23fe	369,37b
T8	7,07e	7,19 ^a	7,19e	6,20 ^a	1,21h	65,00f	377,31 ^a
T13	8,56bc	2,15c	11,00g	3,54g	1,01i	73,45bc	365,67c
T14	8,03d	6,14b	11,83f	3,46h	1,40e	68,89ed	375,19 ^a
T21	8,32cd	6,83 ^a	12,00f	4,76c	1,69d	66,20fe	376,27 ^a
T26	8,31cd	1,11d	10,41h	2,27j	1,05i	75,05b	358,37c
T31	9,68 ^a	0,26e	14,99c	2,43i	1,27g	71,34cd	349,09d
T34	8,31cd	0,21e	18,00b	5,22b	1,35f	66,59fe	340,45e
T35	9,40 ^a	0,74d	14,43d	3,53g	1,29g	79,17 ^a	376,68 ^a
T44	8,43c	0,03e	14,13d	4,11e	2,18c	70,20d	340,45e
T47	7,19e	0,13e	19,55 ^a	4,71d	3,80 ^a	64,39f	336,01f
T48	8,78b	0,03e	14,12d	3,91f	2,30b	71,04cd	339,47e

Médias de quatro observações distintas na mesma coluna diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade U= umidade; EE = extrato etéreo; P = proteína; FB = fibra bruta; C = cinzas; FG = fração glicídica; VCAL = valor calórico; T1 = 87,70% de GM+21,30% de GG; T8 = 75,10% de GM + 24,90% de GG; T13 = 87,50% de GM+12,50% + 12,50% GG; T14 = 78,70% de GA+21,30% de GG; T21 = 75,10% de GA+24,90% de GG; T26 = 87,50% de GA+12,50% de GG; T31 = 82,50% de GM+17,50% de TGD; T34 = 65,01% de GM + 34,99% de TGD; T35 = 82,50% de GM+17,50% de TGD; T44 = 82,50% de GA+17,50% de TGD; T47 = 65,01% de GA+34,99% de TGD; T48 = 82,50% de GA+17,50% de TGD.

Observa-se que os maiores teores de umidade foram encontrados nos tratamentos T31 e T35, e no T8 e T47 foram encontrados os menores valores.

Os valores do extrato etéreo nos tratamentos T8 e T21 apresentam maiores médias que os demais, tendo os tratamentos T31, T34, T44, T47 e T48 apresentado as menores. Os tratamentos com maior adição de grãos de gergelim apresentaram os maiores valores de extrato etéreo, resultado este esperado, uma

vez que os grãos de gergelim apresentam elevado teor de extrato etéreo (47,24%). Portanto, quanto menor foi o teor de gergelim adicionado nas formulações, melhor foi a qualidade na extrusão dos pellets.

Conforme Camire, Camire e Krumhar (1990), altas taxas de lipídeos prejudicam a expansão dos produtos extrudados. Todavia, lipídeos presentes em pequenas quantidades, até 5%, facilitam a extrusão e melhoram a textura dos produtos. Segundo Ho e Izzo (1992), o valor do extrato etéreo pode ser afetado durante a extrusão termoplástica, podendo, ainda, resultar em oxidação, hidrogenação ou polimerização.

De acordo com Camire, Camire e Krumhar (1990), os lipídios polares interagem com as cadeias lineares de amilose para inibir o intumescimento e a hidratação do grânulo de amido. Este efeito está relacionado ao comprimento da cadeia hidrocarbonada: cadeias curtas de lipídios polares podem acelerar a taxa de gelatinização, enquanto cadeias médias e longas inibem o intumescimento dos grânulos. Extrudados completamente gelatinizados podem ter solubilidade entre 80% a 90%, o que pode apresentar uma sensação de goma no paladar. O uso de lipídios na extrusão parece ter algum potencial para melhorar a textura dos extrudados à base de amido, diminuir a solubilidade em água e modificar o perfil de viscosidade (MERCIER; FEILLET, 1975; CHEFTEL, 1986).

Ho e Izzo (1992) trabalharam com extrudados à base de grits de milho a 20% de umidade e temperatura de processamento 120 °C, encontrando redução significativa na extração da fração lipídica. Guzman, Lee e Chichester (1992) observaram redução de 63,5% na proporção de lipídios livres em milho extrudado à temperatura de 80 °C, a 120 °C.

Quanto ao teor de proteína, os maiores valores encontrados foram nos tratamentos T34 e T47. De acordo com Mitchell e Areas (1992), durante o processo de extrusão, as mudanças estruturais nas proteínas ocorrem na seguinte sequência: desnaturação, associação, ruptura de algumas ou todas as associações pelo calor e cisalhamento, para formar uma solução concentrada ou fase fundida,

possível formação de algumas ligações covalentes a altas temperaturas, formação de ligações não covalentes e pontes dissulfeto sobre resfriamento e transição de regiões amorfas para o estado vítreo, se o conteúdo de umidade for suficientemente baixo (CHEFTEL, 1986).

De acordo com Rostagno (2000), durante o processo de extrusão, o excesso de calor pode exercer efeito deletério sobre a qualidade da proteína, como perda da palatabilidade, destruição de aminoácidos, como cistina e lisina, e/ou redução da sua biodisponibilidade. Da mesma forma, Heidenreich (1994) relatou que o excesso de calor torna indisponível parte da proteína e dos aminoácidos, principalmente devido à reação de Maillard e à desnaturação superficial, levando a perdas da função biológica dos alimentos.

No processo de extrusão, a estrutura molecular da proteína, de conformação espiralada (estrutura quaternária), sofre alterações, de modo que seja esticada ao longo de outra molécula alterada, resultando em um formato laminar que confere a consistência do produto final extrudado (VAN; SLOLP, 1987).

Por outro lado, o processo de extrusão aumenta a digestibilidade das proteínas, especialmente pela inativação de fatores antinutricionais e sua desnaturação (EL-DASH, 1982). Desse modo, as proteínas extrudadas são as mais susceptíveis ao ataque de enzimas proteolíticas (ASP; BJORCK, 1989).

Com relação ao teor de fibra bruta, os maiores valores se encontram nos tratamentos T8 e T34. Este resultado era esperado, uma vez que o gergelim em grão e a TGD possuem maior teor de fibra. É provável que esse aumento seja devido à presença da fibra solúvel que solubilizou com os componentes fibrosos das matérias-primas, em razão de alta temperatura da zona de cisalhamento e da pressão do processo de extrusão (ENGLYST et al., 1983).

No processo de extrusão dos *pellets*, a presença da fibra foi utilizada para o controle da densidade e da textura (SHUKLA, 1998).

Com relação ao teor de cinzas, o tratamento T47, elaborado com 65,01% de grits de arroz e 34,99% de torta de gergelim desengordurada, apresentou o maior teor de cinzas; T48, elaborado com 82,5% de grits de arroz e 17,5% de TGD, apresentou também maior teor no resultado das médias com efeito significativo a ($P \leq 0,05$). Isso faz sentido, pois a TGD é a matéria-prima utilizada na elaboração dos *pellets* com maior teor de cinza. Pode-se afirmar que quanto maiores foram os teores da TGD e de grits de arroz adicionados aos *pellets*, maior foi o percentual de cinzas encontrado nos tratamentos.

Conforme Miranda (1998), a temperatura de extrusão pode influenciar o resultado das cinzas dos produtos extrudados. Em material farináceo, de acordo com Mitchell e Arêas (1992), quanto maior é o seu teor de cinzas, pior será a qualidade do produto final, quanto à coloração e ao cozimento.

Com base nos resultados obtidos da fração glicídica dos *pellets*, os tratamentos T1, T8, T21, T34 e T47 demonstraram menores valores nas médias das frações glicídicas, e os tratamentos T26 e T35 apresentaram maior média. O grits de arroz e o grits de milho adicionados nas formulações dos *pellets* influenciaram a composição dos extrudados, resultando em produtos de maior valor energético, pois as mesmas apresentaram 73,50% e 74,14% de fração glicídica, respectivamente.

4.6 Composição dos minerais dos doze tratamentos (*pellets*), antes da fritura

Tabela 10 Valores médios dos macro e microminerais dos 12 tratamentos que foram para análise sensorial.

Tratamentos	Macrominerais (\square u/100 g)				Microminerais (\square u/kg)			
	K	P	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
T1	170f	187f	227h	100f	0,41i	0,49gh	1,45j	4,20h
T8	187e	203d	263g	117c	0,48h	0,57fgh	1,76h	7,70f
T13	143j	133j	117j	70h	0,26j	0,36h	1,04k	3,68j
T14	147i	220c	210i	103fe	8,51c	1,12cde	2,49e	3,94i
T21	153h	220c	230h	110d	12,94 ^a	1,07efg	2,45f	4,23h
T26	83k	150i	90k	67k	8,98b	0,91def	1,64i	3,09k
T31	210c	180g	403c	110d	0,74g	1,27c	2,58d	10,06c
T34	387a	27 k	890a	197a	5,02d	2,50a	4,64b	16,00a
T35	205d	160h	393d	110d	0,78fg	1,21cd	2,19g	9,46e
T44	153h	250b	375e	97e	0,79f	1,72b	2,51e	6,78g
T47	333b	333 ^a	813b	193b	1,40e	2,78 ^a	5,38 ^a	15,25b
T48	160g	193e	357f	103e	0,74fg	1,70b	2,82d	9,76d

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey **T1** = 78,70% de grits de milho; 21,3% de GG e 27% de umidade; **T8** = 75,10% de grits de milho; 24,9% de GG e 39,07% de umidade; **T13** = 87,50 % de grits de milho, 12,5% de GG e 32% de umidade; **T14** = 78,70% de grits de arroz, 21,3% de GG e 27% de umidade; **T21** = 75,10% de grits de arroz, 24,9% de GG e 39,07% de umidade; **T26** = 87,50 % de grits de arroz, 12,5% de GG e 32% de umidade; **T31** = 82,50% de grits de milho, 17,5% de TGD e 24,90% de umidade; **T34** = 65,01% de grits de milho, 34,99% de TGD e 39,07% de umidade ; **T35** = 82,50% de grits de milho, 17,5% de TGD e 32% de umidade; **T44** = 82,50% de grits de arroz, 17,5% de TGD e 24,93% de umidade; **T47** = 65,01% de grits de arroz, 34,99% de TGD e 39,07% de umidade; **T48** = 82,50% de grits de arroz, 17,5% de TGD e 32% de umidade; gergelim em grão = GG; torta de gergelim desengordurada = TGD

Na Tabela 10, são mostrados os resultados dos macro e microminerais dos doze tratamentos, após o processo de extrusão termoplástica. Verifica-se que o tratamento que mais se destacou em teor de potássio foi o T34, com maior valor encontrado e o de menor valor foi o T26.

Em relação ao fósforo, o tratamento T47 apresentou-se com maior valor e o tratamento T34, com o menor.

A variação do teor de cálcio foi significativa entre as amostras ($P \leq 0,05$), tendo o tratamento T34 apresentado o maior teor e o T26, o menor.

Portanto, pode-se dizer que o tratamento T34 apresenta-se balanceado com K, Ca e MG, em grandes proporções. Ainda nas amostras dos *pellets* T34 e T47, observa-se que as maiores quantidades de minerais foram encontradas nos tratamentos que contêm maior percentual de grits de milho e grits de arroz adicionado de torta de gergelim desengordurada. Contudo, do ponto de vista tecnológico, os *pellets* elaborados com grits de milho e grits arroz com a adição de torta de gergelim desengordurada se destacaram como produtos de considerável teor de minerais.

Com relação ao cobre, a maior concentração foi obtida no tratamento T21, no entanto, no tratamento T47 foi encontrada maior quantidade de manganês.

Os tratamentos T34 e T47 apresentaram maior teor de zinco, em relação aos demais tratamentos. O zinco é um micronutriente que merece destaque nos *pellets*. Este é responsável pela mobilização hepática da vitamina A e exerce funções fisiológicas específicas, atuando no crescimento e na replicação celular, na maturação sexual, na fertilidade e na reprodução, além do paladar e do apetite (WAITZBERG, 2002).

Os tratamentos T34 e T47 apresentaram-se com maior presença de ferro em relação aos outros tratamentos. Observa-se que o teor de ferro presente nas amostras dos extrudados é resultado da adição da torta de gergelim desengordurada.

4.7 Análise sensorial

Após a finalização da análise da densidade aparente dos 52 tratamentos (*pellets*) fritos, foram escolhidos os 12 melhores tratamentos, de acordo com os parâmetros aparência geral, índice de expansão volumétrica pós-fritura e aspecto visual da textura, que foram:

- ✓ T1= 78,70% de grits de milho; 21,3% de gergelim e 27% de umidade;
- ✓ T8 = 75,10% de grits de milho; 24,9% de gergelim e 39,07% de umidade;
- ✓ T13 = 87,50% de grits de milho, 12,5% de gergelim e 32% de umidade;
- ✓ T21 = 75,10% de grits de arroz, 24,9% de gergelim e 39,07% de umidade;
- ✓ T26 = 87,50% de grits de arroz, 12,5% de gergelim e 32% de umidade;
- ✓ T14 = 78,70% de grits de arroz, 21,3% de gergelim e 27% de umidade;
- ✓ T34 = 65,01% de grits de milho, 34,99% de TGD e 39,07% de umidade;
- ✓ T35 = 82,50% de grits de milho, 17,5% de TGD e 32% de umidade;
- ✓ T31= 82,50% de grits de milho, 17,5% de TGD e 24,90% de umidade;
- ✓ T47 = 65,01% de grits de arroz, 34,99% de TGD e 39,07% de umidade;
- ✓ T44 = 82,50% de grits de arroz, 17,5% de TGD e 24,93% de umidade;
- ✓ T48 = 82,50% de grits de arroz, 17,5% de TGD e 32% de umidade.

Os testes de qualidade em relação às características sensoriais dos *pellets* elaborados com gergelim em grão e torta de gergelim desengordurada são apresentados nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8.

4.7.1 Aparência

Na Figura 4 observa-se o resultado sensorial das características dos 12 tratamentos dos *pellets* com relação ao atributo aparência. Cada coluna representa um tratamento. Os tratamentos T1, elaborado com 78,70% de grits de milho, 21,3% de gergelim em grão e 27% de umidade; T21, elaborado com 75,10% de grits de arroz, 24,9% de gergelim em grão e 39,07% de umidade;

T26, elaborado com 87,50% de grãos de arroz, 12,5% de gergelim e 32% de umidade e o tratamento T35, elaborado com 82,50% de grãos de milho, 17,5% de TGD e 32% de umidade receberam as notas 7,06; 7,04; 7,05, 6,91 e 6,32, respectivamente, com os escores “gostei regularmente” e “gostei pouco”.

Na Figura 4 observa-se que houve efeito significativo dos tratamentos sobre o atributo aparência. Maiores valores sugerem melhor aparência, indicando um produto com boa aceitação. Portanto, os tratamentos T1, T14, T21, T26, T14, T35 e T44 não diferiram entre si, a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey. E o tratamento T47, elaborado com 65,01% de grãos de arroz e 34,99% de TGD, foi considerado o pior tratamento, o qual recebeu nota 3,84 e escore “desgostei regularmente”. Embora não exista diferença significativa a ($P < 0,05$) entre o tratamento T34, elaborado com 65,01% de grãos de milho, 34,99% de TGD e 39,07% de umidade, representado pelas letras EF e o tratamento T47, elaborado com 65,01% de grãos de arroz, 34,99% de TGD e 39,07% de umidade, representado pela letra F, a pior nota foi atribuída ao T34.

Segundo Miranda (2001), a aparência de um produto exerce papel fundamental na decisão de compra, pois o consumidor seleciona, escolhe e consome o alimento com base nesse parâmetro.

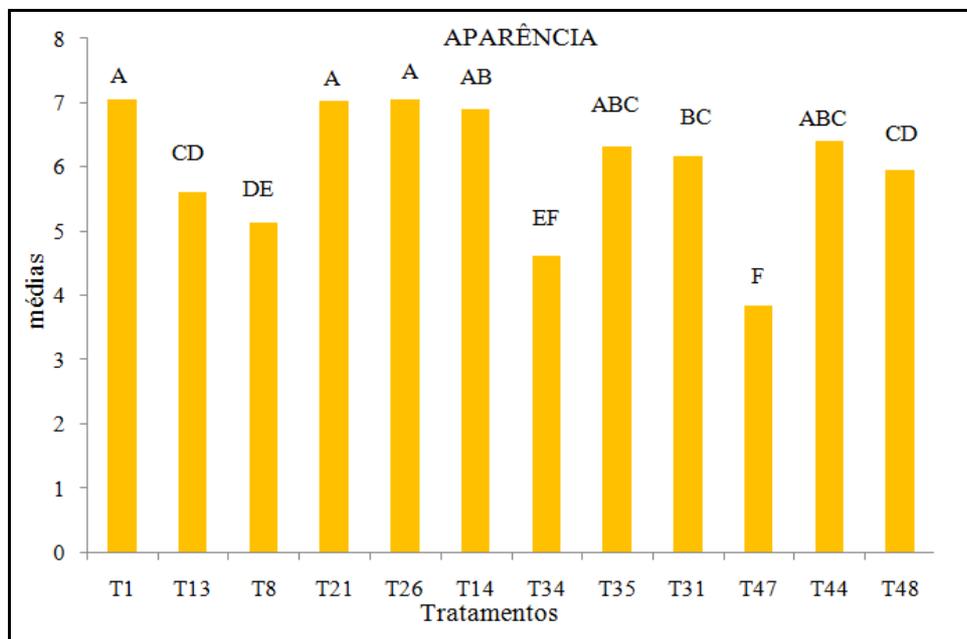


Figura 4 Resultado sensorial da aparência dos 12 tratamentos

4.7.2 Sabor

O sabor é um dos atributos sensoriais de um material, alimento ou não, estimulados pelos órgãos sensoriais, que abrangem as sensações olfativas, nasais e bucais (FERREIRA, 2002; SILVA, 2004), incluindo sensações de gosto doce, ácido ou azedo, amargo, salgado e umami (ESTEVES, 2009).

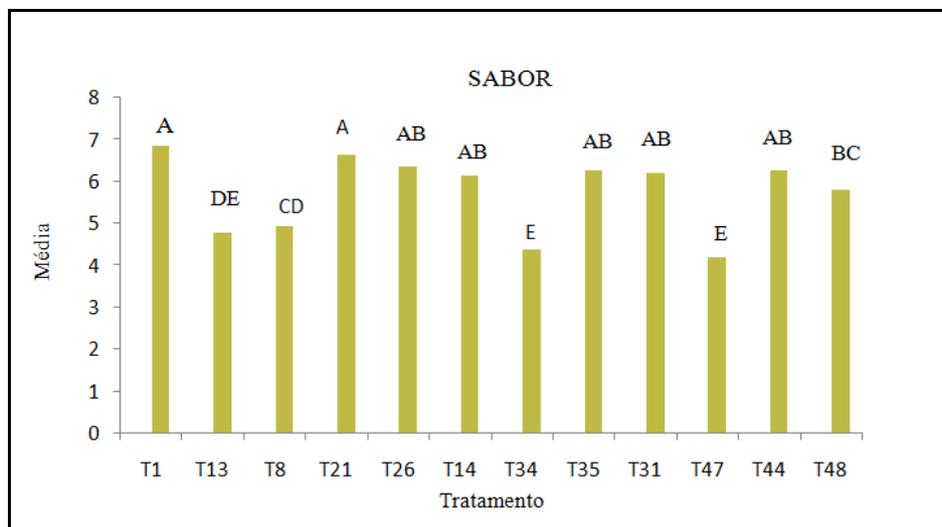


Figura 5 Resultado sensorial do sabor de 12 tratamentos

Na Figura 5 observa-se que os tratamentos T1, T21, T26, T14, T35, T31 e T44 não diferiram entre si, a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey entre si ($P \leq 0,01$), expressando o conceito “gostei regularmente”, é provável que o gergelim tenha influenciado sabor acentuado nos *pellets*, pois os mesmos apresentaram resultados similares. Porém, o tratamento T34, elaborado com 65,01% de grits de milho, 34,99% de torta de gergelim desengordurada e 39,07% de umidade, e o tratamento T47, elaborado com 65,01% de grits de arroz, 34,99% de torta de gergelim desengordurada e 39,07% de umidade, com notas 4,36 e 4,20 e escore “desgostei ligeiramente”, apresentaram as piores notas no atributo sabor. É provável que o sabor dos *pellets* tenha sido influenciado pela semente de gergelim, pois a mesma apresentou características nutricionais próprias para balancear as formulações.

4.7.3 Textura

A textura é um atributo físico, perceptível pelos receptores mecânicos, táteis e, eventualmente, pelos receptores visuais e auditivos. Ela é avaliada pela reação do alimento à pressão para a sua deformação (propriedade reológica) e engloba, também, as propriedades estruturais (geométricas e de superfície); residuais (sensações produzidas na boca) e o som, ou seja, certos alimentos produzem sons, quando mastigados e, assim, associamos determinados sons à textura (OLIVEIRA et al., 2008).

A Figura 6 apresenta o resultado estatístico dos 12 tratamentos do atributo da textura dos pellets.

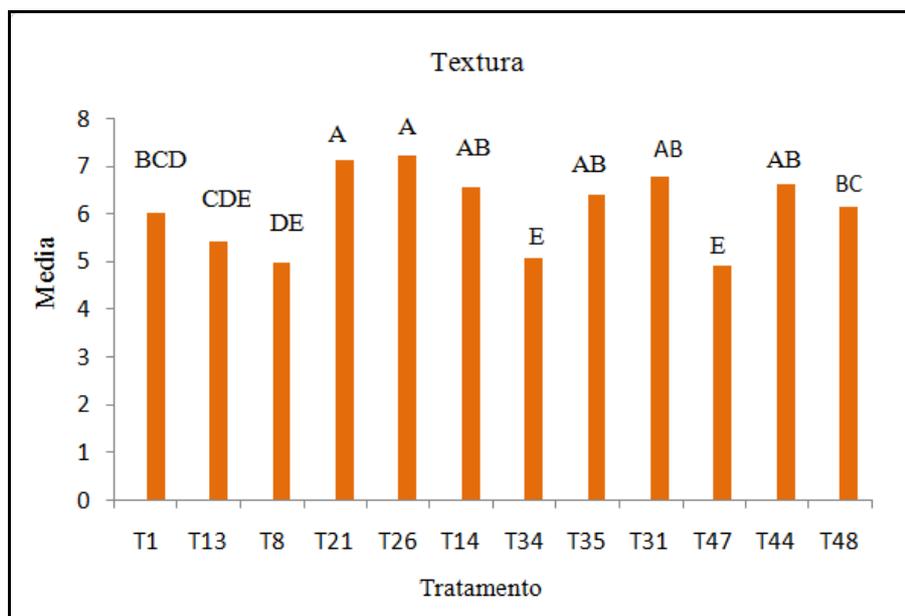


Figura 6 Resultado sensorial da textura de 12 tratamentos

Embora os tratamentos T21, T26, T14, T35, T31 e T44 não tenham diferido entre si, a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey, observa-se que os tratamentos T21, *pellets* com 75,10% de grits de arroz, 24,9% de gergelim e 39,07% de umidade, e T26, elaborado com 87,50% de grits de arroz, 12,5% de gergelim em grão e 32% de umidade foram os melhores tratamentos, com notas 7,10 e 7,20, respectivamente, expressando o conceito “gostei moderadamente”.

Os tratamentos T34, elaborado com 65,01% de grits de milho, 34,99% de TGD e 39,07% de umidade e T47, elaborado com 65,01% de grits de arroz, 34,99% de TGD e 39,07% de umidade receberam as piores notas, 5,7 e 4,91, respectivamente, expressando “não gostei nem desgostei” e “desgostei ligeiramente” (Figura 6).

Cada provador foi orientado a definir, de forma livre, o que mais gostou ou desgostou das amostras. Dentre a qualidade das duas amostras (T21 e T26), as características que mais se destacaram foram o sabor do gergelim em grão e a textura crocante dos *pellets*.

A textura foi de fundamental importância na qualidade dos produtos avaliados e pode ser determinante na sua aceitabilidade pelo consumidor. Sensorialmente, essa propriedade influencia um produto de modo equitativo ao de outras propriedades, como aroma e aspecto (BOTELHO, 2010).

Takeuchi, Sabadini e Cunha (2005) analisaram as propriedades dos extrudados contendo arroz, milho e trigo e avaliaram o atributo da textura como uma propriedade de extrema importância, pois ela favorece a crocância. A crocância está associada ao frescor e à qualidade do produto e sua perda está associada ao amolecimento, causando rejeição pelo consumidor.

Modesta (2006) avaliou as propriedades de textura de alimentos e afirmou que a textura não tem apenas a finalidade de indicar as características do produto final, mas serve também como uma ferramenta de controle de qualidade da matéria-prima ou do produto, em vários estágios do processamento. O ruído, ou o som, que é produzido ao mastigar muitos dos alimentos, fornece uma

informação muito apreciada pelos consumidores, pela crocância dos produtos, a qual está relacionada com a textura.

4.7.4 Aspecto global

Em síntese, a primeira avaliação do alimento é feita com os olhos, ou seja, pela aparência, cor, forma, tamanho, brilho, características da superfície, constituindo o primeiro critério de aprovação do produto. O atributo cor tem influência também na deterioração e na identificação do alimento; qualquer alteração dessas características pode prejudicar a avaliação global de um produto (OLIVEIRA et al., 2008).

A Figura 7 apresenta os dados do aspecto global dos pellets com adição de gergelim e torta desengordurada os quais são ricos em minerais conforme Tabela 7.

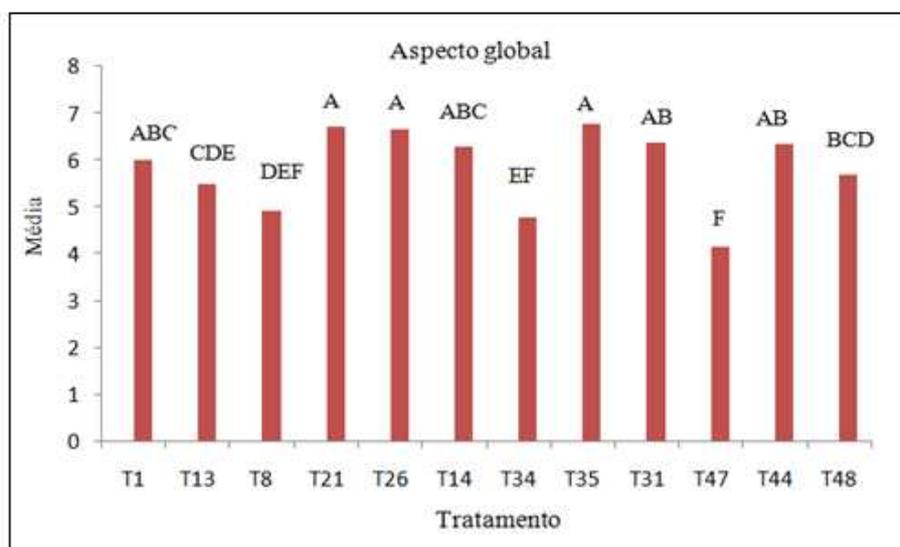


Figura 7 Resultado sensorial do aspecto global de 12 tratamentos

Os tratamentos T1, T21, T26, T14, T35, T31 e T44 não tenham diferido entre si a ($P \leq 0,01$), pelo teste de Tukey, observa-se que os tratamentos T21, T26 e T35 foram os melhores, com notas de 6,71, 6,66 e 6,79, respectivamente, expressando “gostei moderadamente”. Como se observa na Figura 8, os piores tratamentos foram T34, elaborado com 65,10% de grits de milho, 34,99% de torta de gergelim desengordurada e 39,07% de umidade, e T47, elaborado com 65,01% de grits de arroz, 34,99% de torta de gergelim desengordurada e 39,07% de umidade, que obtiveram notas 4,76 e 4,14, respectivamente e escore sensorial “desgostei ligeiramente”.

Portanto, observa-se que, quanto ao atributo impressão global, o tratamento que apresentou maior média foi T3 com 6,79, correspondente aos *pellets* elaborados com 82,50% de grits de milho, 17,50% de torta de gergelim desengordurada e 32% de umidade. Pode-se considerar que a aceitação em todos os tratamentos foi boa, ou seja, esse método permitiu medir o grau em que os consumidores gostaram ou desgostaram dos produtos extrudados formulados com gergelim em grão e torta de gergelim desengordurada.

4.7.5 Intenção de compra

Algumas explicações têm sido dadas para o comportamento altruísta do consumidor, tais como aspiração de comprar o que é certo (STRAHILEVITZ, 1999), a busca pela satisfação dessa compra (KAHNEMAN; KNETSCH, 1992) e o desejo de vivenciar uma sensação satisfatória (ANDREONI, 1990). A medição de intenção de compra é bastante usual em experimentos sobre o comportamento do consumidor (HOMBURG; HOYER; KOSCHATE, 2005).

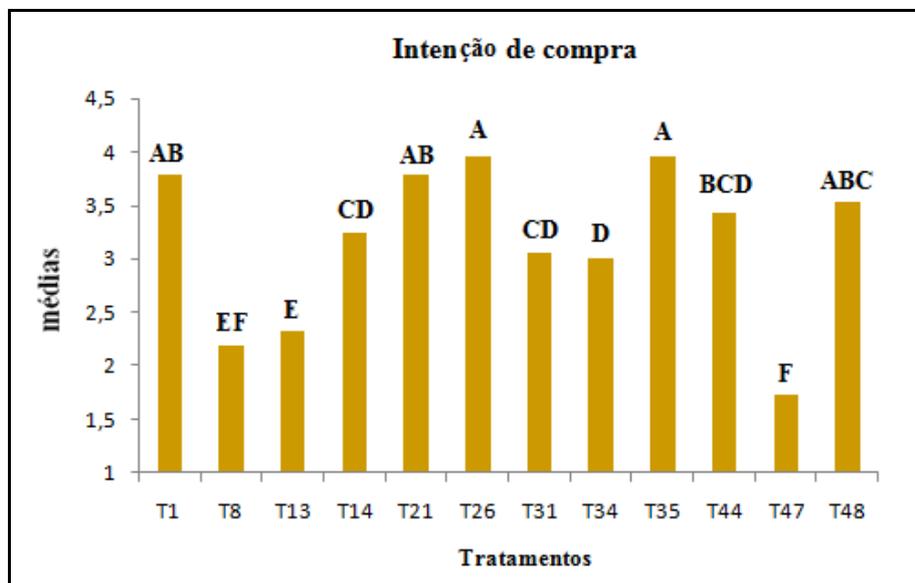


Figura 8 Análise estatística para os escores obtidos para o atributo “intenção de compra” dos *pellets* provenientes de 12 tratamentos

Na Figura 8 apresenta-se a média para a intenção de compra dos 12 tratamentos, pelo teste de Tukey a ($p \leq 0,01$). Observa-se que os tratamentos T1, T21, T26, T35 e T48 não diferiram entre si, podendo ser expressos entre “talvez compraria” ou “provavelmente compraria”. Com relação aos tratamentos T47, T8 e T13, estes receberam as piores notas, 1,72, 2,19 e 2,33, respectivamente, com escore de “provavelmente não compraria esses produtos”.

Com relação ao atributo intenção de compra, os resultados apontaram possibilidades da comercialização dos extrudados, visto que 65% foram avaliados por mulheres, indicando forte tendência em consumir mais o produto do que os homens, já que apenas 35% deles afirmaram que o consumiriam.

4.8 Composição centesimal dos tratamentos (T1, T21, T26 e T35), melhores resultados da análise sensorial

Após a finalização da análise sensorial dos 12 tratamentos (*pellets*), foram escolhidos os quatro melhores em relação aos atributos: aparência, sabor, textura, aspecto global e intenção de compra, para avaliação da composição centesimal. Os valores médios da composição centesimal (umidade, extrato etéreo, proteína, fibra bruta, cinzas, extrato não nitrogenado e valor calórico) estão expressos na Tabela 11.

Tabela 11 Valores médios da composição centesimal dos quatro melhores tratamentos, obtidos a partir da análise sensorial.

Tratamentos	Características						
	U	E.E	P	FA	C	FG	Val/kcal
G 100 g ⁻¹							
T1	4,26 b	9,00 c	5,22 d	7,60 a	0,71 c	67,72 c	392,08 b
T21	3,93 c	16,48 a	9,41 b	6,80 c	1,16 a	62,64 d	436,60 a
T26	4,97 a	8,39 d	7,90 c	7,10 b	0,72 c	70,60 a	389,51 b
T35	2,17 d	11,95 b	11,92 ^a	2,92 d	0,90 b	69,02 b	435,79 a

Médias de quatro repetições seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; T = tratamento; U = umidade; EE = extrato etéreo; P = proteína; FA = fibra alimentar; C = cinza; FG = fração glicídica; Val/kcal = valor calórico; **T1** = 78,70% de grãos de milho + 21,30% de gergelim em grão; **T21** = 75,10% de grãos de arroz + 24,90% de gergelim em grão; **T26** = 87,50% de grãos de arroz + 12,50% de gergelim em grão; **T35** = 82,50% de grãos de milho + 17,50% de TGD

Na Tabela 11 mostram-se os dados correspondentes à média da composição centesimal dos melhores tratamentos avaliados na análise sensorial. Conforme os resultados obtidos para umidade, houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) em relação aos quatro tratamentos. Fatores como umidade das matérias-primas, que variou de 5,0 g 100 g⁻¹ a 16,95 g 100 g⁻¹, e tempo e temperatura de secagem (40 °C por 24 horas) podem ter influenciado o resultado final da umidade dos *pellets*.

Os *pellets* de maior valor de extrato etéreo foram obtidos nos tratamentos T21 e T35. Observa-se que ocorreu diferença significativa ($P \leq 0,05$) dos valores médios de extrato etéreo dos quatro tratamentos, quando foram adicionados o gergelim em grão e a torta de gergelim desengordurada. A absorção da gordura hidrogenada durante a fritura também proporcionou um notável aumento de extrato etéreo nos produtos extrudados após a fritura. Teores elevados de lipídios previnem a expansão dos extrudados que contêm, na maioria das vezes, menos de 6% a 7% de lipídios logo após a extrusão. Níveis baixos (aproximadamente 5%) promovem uma extrusão constante e melhoram a textura (CHEFTEL, 1986).

O uso de lipídios na extrusão parece ter algum potencial para melhorar a textura dos extrudados à base de amido, por diminuir a solubilidade em água e modificar o perfil de viscosidade (MERCIER; FEILLET, 1975; CHEFTEL, 1986).

Ascheri (1994) avaliou amostras de *pellets* obtidos no mercado e encontrou um conteúdo de extrato etéreo de 23 g 100 g⁻¹ a 26 g 100 g⁻¹, valores superiores aos encontrados neste trabalho.

Observa-se que houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre os valores da proteína para todos os tratamentos. Os maiores valores médios de proteína se encontram nos tratamentos T21 e T35, enquanto nos extrudados das Tabelas 12 e 14 foram reduzidos. A redução da proteína em produtos extrudados (CAMIRE; CAMIRE; KRUMHAR, 1990) ocorre segundo a desnaturação da mesma, a

partir de qualquer mudança conformacional da estrutura α -superfíc que não envolve quebra de ligações peptídicas. Tipicamente, grupos hidrofóbicos são expostos durante a desnaturação, resultando numa diminuição da solubilidade da proteína em soluções aquosas.

O resultado da fibra alimentar destacou-se nos tratamentos T1 e T26. Segundo Limberger et al. (2009), a relação do aumento de fibra alimentar em produtos extrudados se dá, possivelmente, devido à solubilização de componentes fibrosos encontrados nas matérias-primas e na relação da temperatura e da pressão durante o processo de extrusão.

O aumento nos teores de fibra alimentar é um resultado desejável da extrusão, devido ao aumento do teor de amido resistente presente nas amostras, que permite que o alimento seja comercializado como fonte de fibra (quando o teor é maior que 3%). Extrudados elaborados com alto teor de fibra alimentar apresentam-se com um bom apelo comercial, já que os consumidores têm optado por alimentos menos prejudiciais à saúde (LIMBERGER, 2006).

Segundo Larrea, Chang e Bustos (2005), durante o processo de extrusão de produtos ricos em fibras, podem ocorrer alterações, devido ao rompimento de ligações covalentes e não covalentes entre carboidratos e proteínas associadas às fibras, resultando em pequenos fragmentos moleculares, os quais podem ser mais solúveis. Pode ocorrer rompimento, devido às condições elevadas de temperatura e baixa umidade ou em condições de elevadas umidades e temperatura sob longo tempo de residência com baixa rotação da rosca.

No Brasil, a Portaria n° 27 da Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária estabelece, no regulamento técnico referente à informação nutricional complementar, que um alimento pode ser considerado fonte de fibra alimentar (FA) quando apresentar, no produto pronto, 3 g/100 g na base íntegra para alimentos sólidos e 1,5 g/100 ml (base integral) para alimentos líquidos; já com o dobro deste conteúdo é considerado um alimento com elevado teor de FA.

Assim sendo, podem-se classificar os *pellets* como boa fonte de fibra alimentar, pois os mesmos apresentaram valores entre 3,0 a 8,0 g 100 g⁻¹.

Os maiores valores de cinza foram encontrados no tratamento T21, elaborado com 75,10% de grits de arroz + 24,90% de gergelim em grão e no tratamento T35, elaborado com 82,50% de grits de milho + 17,50% de TGD (P≤0,05).

Os resultados de cinza encontrados nos *pellets* foram superiores quando comparados ao teor de cinza das matérias-primas: grits de milho, 0,50 g 100 g⁻¹; gergelim em grão, 5,30 g 100 g⁻¹ e grits de arroz, 0,52 g 100 g⁻¹ de cinza. Em contrapartida, está relacionado com o teor de cinza dos tratamentos antes da fritura.

O valor médio da fração glicídica apresentou diferença significativa (P≤0,05) nos quatros tratamentos. Os maiores valores se destacaram nos tratamentos T26 e T35. A alta concentração da fração glicídica encontrada nos tratamentos ressalta a importância do grits de milho, do grits de arroz e do gergelim em grão, como fonte de energia na alimentação diária.

Com relação ao teor calórico, os tratamentos T21 e T35 apresentaram os maiores valores, ou seja, os extrudados com maior teor de grits de arroz (75,10%) e de milho (82,50%). Estes cereais apresentaram maiores valores calóricos, segundo a Tabela 7.

Sgarbieri (1987) trabalhou com farinha de milho e encontrou valor calórico de 418 kcal/100 g, nos extrudados obtidos, Valor esse considerado similar aos encontrados nos tratamentos T21 e T35.

A atual legislação regulamenta os novos valores diários de referências para efeito de rotulagem e preconiza que o valor calórico total diário é de 2.000 kcal, sendo distribuído da seguinte forma: carboidratos, 300g/dia, devendo corresponder a 60% do valor calórico total diário recomendado; proteínas, 75g/dia, correspondendo a 15% do valor calórico total diário recomendado e fibra alimentar, 22 g/dia. Com base nas recomendações regulamentadas pela

Agência Nacional da Vigilância Sanitária, ANVISA, Resolução nº 360, de 2003 (BRASIL, 2003), pode-se afirmar que os extrudados elaborados à base de grits de arroz, gergelim em grão, grits de milho e torta de gergelim desengordurada podem contribuir para uma alimentação mais saudável (SILVA; ASCHERI; PERERIA, 2008).

4.9 Minerais dos extrudados melhores tratamentos da análise sensorial

Na Tabela 12 observa-se a composição dos macrominerais e microminerais dos melhores tratamentos dos *pellets* obtidos da análise sensorial.

Tabela 12 Valores médios dos teores de macrominerais e microminerais dos quatros tratamentos dos *pellets*, após análise sensorial.

Tratamentos	Macrominerais (□u/100 g)						Microminerais (□u/kg)			
	K	P	Ca	Mg	S	N	Cu	Mn	Zn	Fe
T1	170b	190ab	230a	100b	120c	1660b	0,41d	0,49 d	1,45a	4,20b
T21	153c	220a	230a	110a	160b	1566c	7,14a	1,07b	2,45a	4,23b
T26	83d	150c	90c	70c	120c	1326d	6,18 b	0,91 c	1,64 c	3,09c
T35	205a	170bc	205b	15d	195a	2100a	0,78 c	1,21a	2,36b	9,46a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey T1=78,70% de GM + 21,3% de G G; T21= 75,10% de GA + 24,9% de GG; T26= 87,5% de GA + 12,5% de GG T35 = 82,5% de GM + 17,5% TGD.

Pelos dados da Tabela 12 verifica-se que houve maior prevalência de concentração de potássio nos tratamentos T1 e T35, e que o menor valor foi encontrado no tratamento T26. Observa-se que ocorreu diferença significativa ($P \leq 0,05$) no teor de potássio em relação aos demais tratamentos. O potássio é essencial para a síntese de proteínas e metabolismo de carboidratos, a contração da musculatura cardíaca e absorção no trato gastrointestinal (BORGES et al., 2004).

Com relação ao teor de fósforo, não ocorreu diferença significativa ($P \leq 0,05$) nos tratamentos T1, T21, T26 e T35. Com relação ao teor de cálcio, não houve diferença significativa entre os tratamentos T1 e T21. Já para o teor de magnésio, enxofre e nitrogênio, houve diferença significativa entre os quatro tratamentos.

Quanto ao teor de cobre e manganês, houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) nos quatro tratamentos. Os teores de zinco e de ferro não diferiram nos tratamentos T1 e T21.

Dados sobre o conteúdo de minerais em alimentos, especificamente micronutrientes, como cobre, zinco e ferro, são escassos nos bancos de dados de composição de alimentos (SOUTHGATE, 1992). Com base nos resultados, pode-se dizer que os *pellets* encontram-se balanceados, em relação ao teor de microminerais.

O zinco é um elemento essencial necessário ao corpo, em pequenas quantidades. A ingestão média diária de zinco varia 5,2 a 16,2 mg ($\mu = 0,001$ g) (ADEDAMOLA; GAN, 2012). Silva (2007) trabalhou com extrudado de milho e encontrou teor de manganês superior ao deste trabalho e teor de zinco inferior.

Segundo a National Research Council, NRC (1989), o zinco é um mineral essencial para várias funções orgânicas, com recomendações de ingestão diárias definidas. Mas, a adequação dietética de ingestão é difícil de mensurar,

devido às limitações nas tabelas e nos programas informatizados de cálculo de dietas.

Segundo Franceschini, Priore e Euclides (2005), o zinco atua como componente essencial de enzimas responsáveis pela manutenção da integridade estrutural de proteínas e pela regulação e expressão da informação genética. Os *pellets* do tratamento T21 podem ser considerados boas fontes de cobre e de zinco.

Silva (2007) trabalhou com extrudado de farinha de milho 13% e 87% de farinha de arroz e encontrou valores de ferro inferiores ao encontrado neste trabalho.

Teba (2009) trabalhou com extrudado de arroz e feijão (20% a 73,64%) e encontrou valor de ferro de 5,45 mg/100 g, portanto, inferior ao encontrado no tratamento T35, 9,46 mg/100 g, neste trabalho.

A ingestão diária recomendada de ferro, segundo National Academy of Sciences, NAS (2007), para homens adultos com idade de 19 a 50 anos, é de 8 mg/dia e, para mulheres adultas nesta faixa etária, é de 18 mg/dia.

4.10 Vazão (kg/h) dos extrudados de grits de milho e grits de arroz com adição de gergelim em grão

Na Tabela 13 estão apresentados os coeficientes dos modelos para as variáveis vazão, IAA e ISA dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de gergelim em grão.

Tabela 13 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: vazão, índice de absorção em água e índice de solubilidade em água dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA).

CR	EGM			EGA		
	VAZÃO	IAA	ISA	VAZÃO	IAA	ISA
	kg/h	g/g	%	kg/h	g/g	%
Intercepto	28,41812*	1,1273ns	3,9933ns	30,36627*	-7,69752ns	51,50603*
U (L)	-1,42740*	0,2028ns	- 0,0535ns	-1,80455*	0,80809ns	-2,72617*
U (Q)	0,01906*	- 0,0025ns	0,0021ns	0,02795*	-0,011201ns	0,04211*
GG (L)	0,04036ns	0,2080ns	0,4504*	0,37867*	0,08927ns	-0,04520ns
GG (Q)	-0,00041ns	0,0048*	- 0,0089*	0,00283ns	0,00708*	-0,00470ns
UXGG (L)	-0,00107ns	- 0,0100*	- 0,0057ns	-0,01267*	-0,00955ns	0,00179ns
R ²	0,97	0,76	0,78	0,96	0,88	0,65

Coeficiente de regressão (CR), umidade (U), gergelim em grão (GG), índice de absorção em água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA), *significância, a 5% de probabilidade e não significativo (n.s).

Para a vazão de EGM, apenas os termos linear e quadrático da umidade foram estatisticamente significativos, a 5% de significância, apresentando o termo linear da umidade efeito negativo sobre a vazão. Para o EGA, os termos significativos foram, além dos dois termos relativos à umidade, os termos linear de gergelim e interação umidade com teor de gergelim.

A representação gráfica dos modelos para vazão dos extrudados (kg/h) (Figuras 9A e 9B) evidencia que a umidade foi a única variável que influenciou a vazão de EGM, enquanto, para vazão de EGA, tanto umidade como teor de gergelim influenciaram. Verificou-se, nos EGM, que à medida que a umidade diminuiu, a vazão aumentou. É provável que o amido do grão de milho tenha sido mais susceptível durante a extrusão, do que o teor de gergelim, a qual influenciou para maior vazão, com valores de 24% a 27% de umidade.

Nos EGA com adição de gergelim em grão (Figura 9 B) observou-se a melhor vazão em condições de baixo teor de umidade e alto teor de gergelim. Segundo Miller e Mulvaney (2000), maiores retenções de massa ao longo do cilindro influenciam o maior escoamento do material e o consequente aumento da pressão, durante o processo de extrusão.

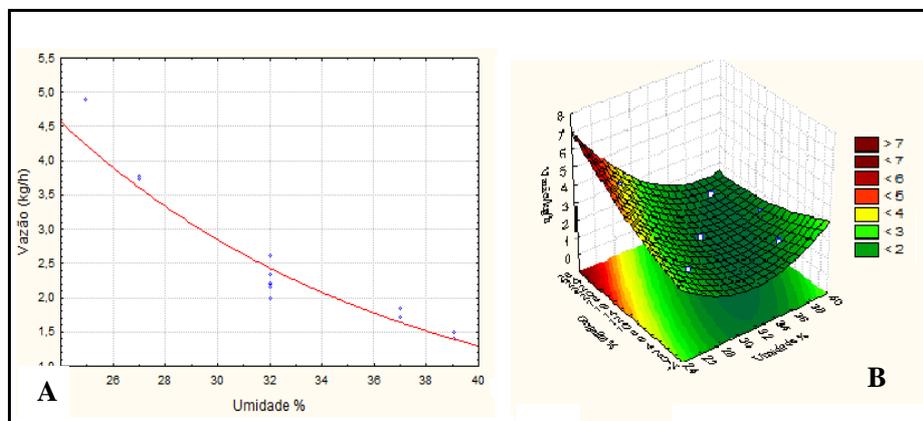


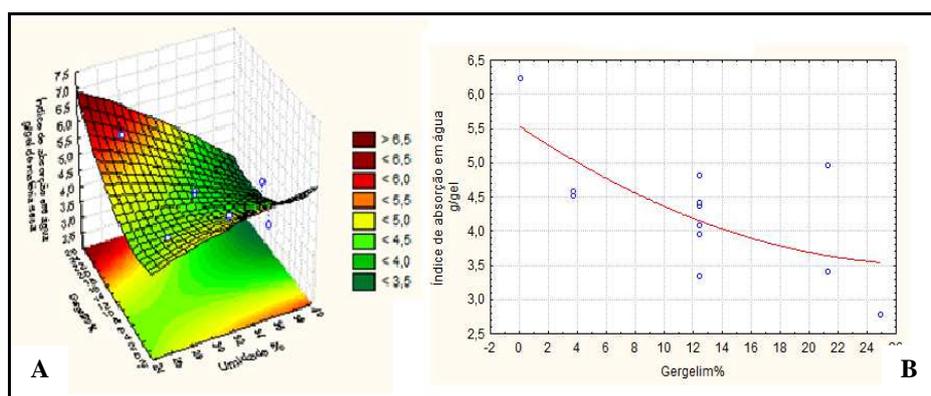
Figura 9 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da vazão, dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).

Segundo Ascheri e Carvalho (2008), os valores de IAA e do ISA podem ser utilizados para estimar a adequabilidade do uso de produtos amiláceos extrudados em suspensões ou soluções. As aplicações em meios com quantidade limitada de água são baseadas nessas duas propriedades funcionais. Portanto, as estimativas dos coeficientes do modelo de regressão para o IAA dos EGM e EGA encontram-se na Tabela 13. Verifica-se que houve efeito significativo no teor de gergelim quadrático positivo e interação negativa com valores de umidade e gergelim. Pode-se dizer que o modelo foi ajustado com o coeficiente de determinação (R^2) 0,76, de modo satisfatório aos dados do IAA. Nos EGA, foi houve efeito quadrático positivo somente para o gergelim, com $R^2=0,88$. Portanto, os dois modelos, EGM e EGA, foram ajustados aos dados da variável resposta IAA.

Os dados da Figura 10A permitem verificar o efeito da umidade e do gergelim no IAA, em forma de superfície de resposta. Nota-se que, com 36% e 40% de umidade e 14% a 22% de gergelim, resultou numa redução do IAA. Portanto, é possível perceber que os valores das variáveis influenciaram no

sentido do melhor valor do IAA. Quanto ao comportamento do IAA, em função dos teores de gergelim (Figura 10B) dos EGA, ele tende a ser reduzido com 16% de gergelim, o qual influenciou na obtenção do melhor ponto da variável resposta. Durante o processo de extrusão, os grânulos de amido das farinhas dos extrudados sofrem fragmentação, parâmetro este que influencia o aumento da gelatinização e, conseqüentemente, a diminuição do IAA (ASCHELI, 1994).

Ascheri (1994) trabalhou com fécula de mandioca e farinha de milho e encontrou IAA variando de 4,5 a 7,0 g de gel/g de matéria seca, valores inferiores aos encontrados neste estudo, 3,5 a 6,5 g de gel/g de matéria, nos EGM e EGA.



Figuras 10 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do IAA, dos *pellets* de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).

Mendonça (2000) trabalhou com farinha de arroz e soja e encontrou valor do IAA variando de 3,396 a 8,856 g de gel/g de matéria seca, valores superiores aos encontrados nos EGA. Contudo, é importante salientar que somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham, e o aumento no grau de gelatinização, com a fragmentação do grânulo de amido, diminui a absorção de água (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005; CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). Neste trabalho é possível avaliar que o gergelim influenciou para o baixo índice de IAA, durante o processo de extrusão dos EGA.

O índice de solubilidade em água (ISA) está relacionado à quantidade de sólidos solúveis presente em uma amostra, permitindo verificar o grau de intensidade do tratamento térmico, em função da gelatinização, da dextrinização e da superfície de solubilização do amido (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). Contudo, os valores dos coeficientes de determinação dos EGM e EGA encontram-se na Tabela 13, mostrando efeito linear positivo e quadrático negativo na variável gergelim $R^2 = 0,78$, expressando 78% da variação total da variável resposta. Nos EGA, foi apresentado efeito linear negativo e quadrático positivo nos valores da umidade, com $R^2 = 0,65$, expressando 65% da variação total da variável resposta. Portanto, os modelos foram ajustados significativamente aos dados do ISA.

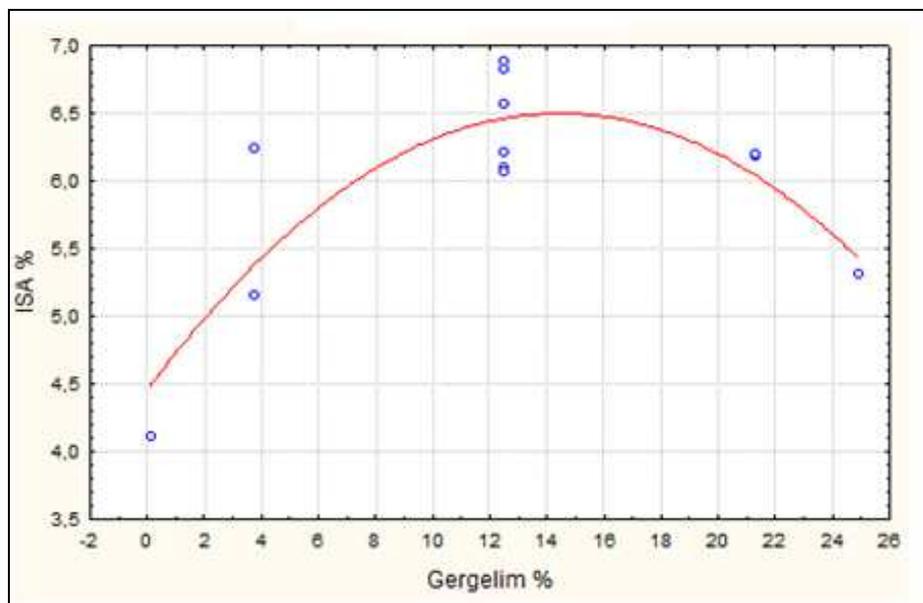


Figura 11 Efeito da variável quantitativa gergelim em grão (%), em função do ISA obtido nos *pellets* com grits de milho com adição de gergelim em grão

No gráfico da Figura 11 observa-se o maior valor do ISA, com 12,50% de gergelim em grão indicando o melhor resultado. Estes dados estão de acordo com o esperado, pois o gergelim é mais susceptível à ruptura por ação mecânica do que o milho, devido à sua estrutura e composição química. Os valores do ISA são relativamente baixos em comparação com snacks obtidos pelos métodos de expansão direta. Isto ocorreu porque, no presente estudo, foram utilizadas umidades relativamente altas, acarretando menor cisalhamento da massa e, conseqüentemente, degradação macromolecular.

4.11 Densidade absoluta (DABS)

Segundo Sebbio (1996), a densidade absoluta ou aparente é uma característica física importante em produtos extrudados, pois influencia diretamente a embalagem e, conseqüentemente, o custo do produto. A análise da DABS deve ser efetuada somente após a secagem do material extrudado. Os respectivos valores dos coeficientes de regressão da densidade absoluta (DABS) dos EGM e EGA encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias, para a variável densidade absoluta (DABS) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA).

Coeficientes de regressão	EGM	EGA
	DABS	DABS
Intercepto	1,190045*	5,088701*
U (L)	0,013341ns	-0,221000*
U (Q)	-0,000122ns	0,003266*
GG (L)	-0,000317ns	0,058920ns
GG (Q)	0,000138ns	-0,000806*
UxGG (L)	-0,000220ns	0,000323*
R ²	0,86	0,84

Umidade (U), gergelim em grão (GG), densidade absoluta (DABS) *significância a 5% de probabilidade e não significativo (n.s).

Para os EGM não foi observado efeito significativo nas variáveis (umidade e gergelim em grão), mesmo apresentando alto valor de $R^2=0,86$ com relação à variável resposta DABS. Em contrapartida, nos EGA foi encontrado efeito linear negativo, quadrático positivo para umidade, quadrático negativo para os valores de gergelim e interação com umidade e gergelim. Portanto, o modelo foi ajustado de modo satisfatório aos dados da densidade absoluta, com $R^2=0,84$ indicando que o modelo adotado explicou 84% das variações, seguidos dos valores da densidade absoluta.

O gráfico da Figura 12 permite verificar o efeito da variável resposta (DABS) em função do teor de umidade e do teor de gergelim apresentando o menor valor, 1,3 g/ML, obtido com 32% a 38% de umidade e 22% a 26% de gergelim. Portanto, mostrando o melhor ponto.

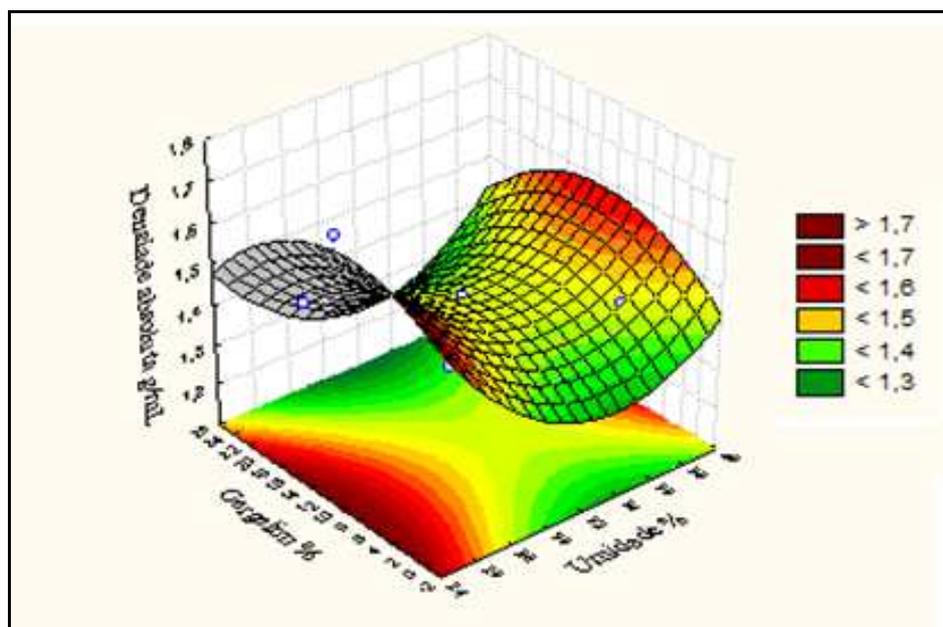


Figura 12 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DABS, dos pellets de grits de arroz com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e de gergelim em grão (%)

4.12 Porosidade (PO)

A porosidade de um produto é uma das características físicas de suma importância, pois ela está inserida no dimensionamento de várias estruturas, como caixas, embalagens e unidades transportadoras, além de estar contida dentro do calor e da transferência de massa nos processos industriais (MATA; DUARTE, 2002).

Os respectivos valores dos coeficientes de regressão da porosidade (PO) dos EGM e EGA encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável porosidade (PO) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA).

Coeficientes de regressão	EGM	EGA
	PO	PO
Intercepto	0,155461ns	0,355376*
U (L)	0,008029ns	-0,000893ns
U (Q)	-0,000080ns	0,000008ns
GG(L)	0,001826ns	-0,001963ns
GG(Q)	0,000093ns	0,000006ns
UxGG (L)	-0,000178ns	-0,000013ns
R ²	0,83	0,96

Umidade (U), gergelim em grão (GG), porosidade (Po), *significância, a 5% de probabilidade e não significativo (ns)

Analisando-se as estimativas dos coeficientes do modelo de regressão para a variável porosidade nos EGM e EGA, verificou-se que não houve efeito significativo para as variáveis umidade e gergelim em grão. No entanto, o modelo não se ajustou de modo satisfatório aos dados da porosidade, mesmo com coeficiente de determinação consideravelmente alto, 83% e 96%, a 5% de probabilidade.

4.13 Densidade antes da fritura (DAF)

Baixa densidade implica em maior expansão e textura suave de *pellets*, características muito apreciadas pelos consumidores (ASCHERI et al., 1998). Quanto menos denso o produto for, maior a expansão e vice-versa, pois a taxa de expansão é resultado da expansão longitudinal e perpendicular ao fluxo da extrusão, mas, na verdade, a densidade aparente implica na expansão em todas as direções (FALCONE; PHILIPS, 1988).

Os dados das estimativas experimentais dos dois delineamentos dos EGM e EGA com adição de gergelim em grão em relação à densidade dos pellets antes e após a fritura encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis densidade antes da fritura (DAF), densidade pós fritura (DPF) e índice de expansão volumétrica (IEV) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA).

Coeficientes de regressão	EGM		EGA	
	DAF	DPF	DAF	DPF
Intercepto	3,728839*	0,860706*	1,791091*	-0,190781ns
U(L)	-0,178770*	-0,03261*	-0,060319*	0,035547*
U(Q)	0,002582*	0,000525*	0,000904*	-0,000599*
GG(L)	-0,007497ns	-0,00263ns	0,006749ns	-0,013016*
GG(Q)	-0,000778*	-0,00019*	-0,000316*	-0,000220*
UxGG(L)	-0,000790ns	0,000161ns	0,000017ns	0,000216*
R ²	0,60	0,77	0,71	0,96

Umidade (U), gergelim em grão (GG), densidade antes da fritura (DAF), densidade pós-fritura (DPF) *significância a 5% de probabilidade e não significativo (ns)

Observando-se os dados da variável resposta DAF com $R^2=0,60$ e $R^2=0,71$, observa-se que mais de 60% e 71% da variação total da variável resposta para os níveis de umidade e de gergelim obtiveram diferença significativa ($P \leq 0,05$). Nos EGM, pode-se perceber que houve efeito linear negativo, quadrático positivo para a umidade e efeito quadrático negativo para o gergelim nos valores de umidade e gergelim, em função da DAF. O efeito negativo da variável linear umidade mostra uma tendência na redução dos valores da DAF (inversamente proporcionais) ao teor de gergelim. Em contrapartida, nos EGA, foi observada contribuição linear negativa, quadrática positiva e efeito quadrático negativo no teor de gergelim, para os valores da DAF. Pela Figura 13 é possível verificar o efeito das variáveis estudadas (umidade e gergelim) na variável resposta DAF.

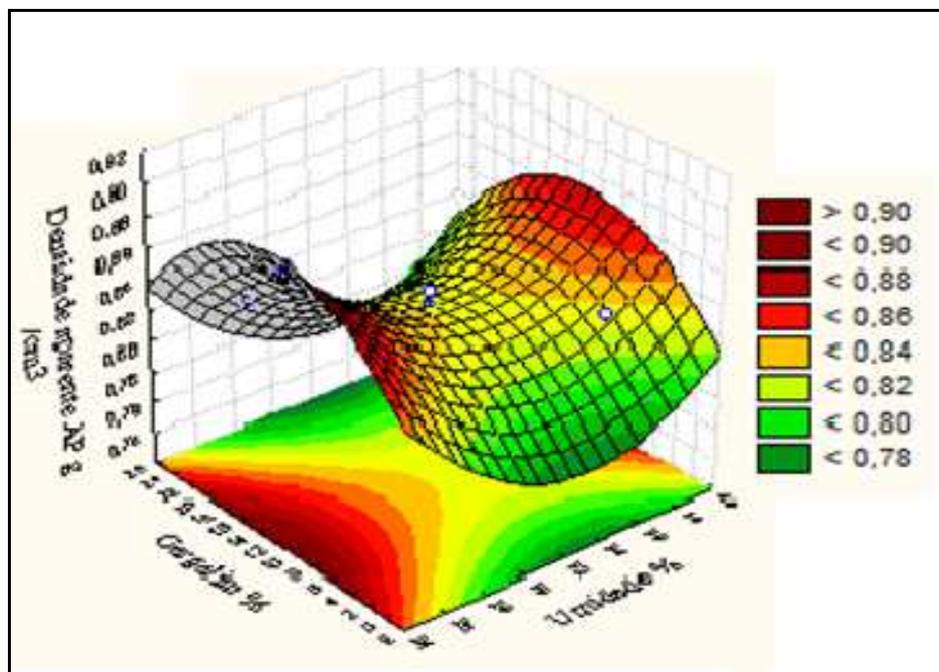


Figura 13 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da vazão, dos *pellets* de grits de arroz com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%)

O menor valor da DAF foi o melhor ponto obtido, com valores de 26% a 32% umidade, e 0,92% e 4% e/ou 24% a 32% de gergelim em grão.

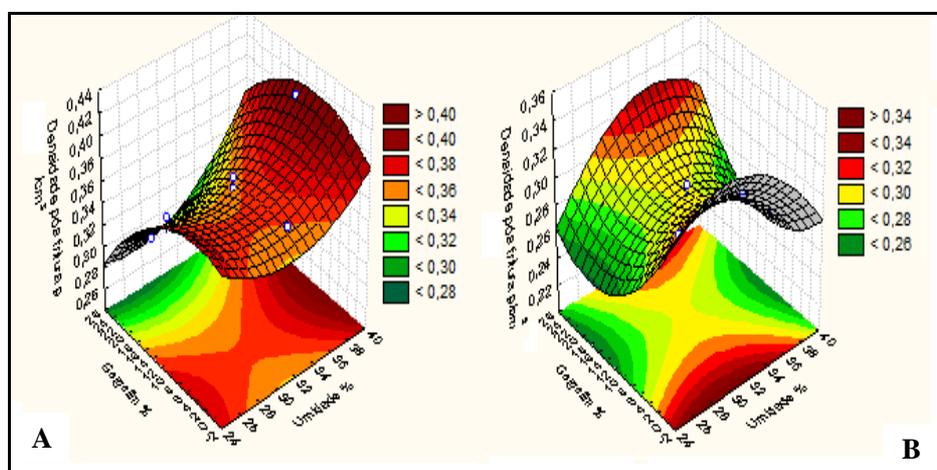
Segundo Mendonça (2000), a DAF aumenta conforme a umidade de condicionamento das amostras, a temperatura de extrusão e a velocidade de rotação do parafuso, e pode variar em função de vários parâmetros, tais como percentual de umidade, temperatura de extrusão e formulação, entre outras características da matéria-prima, proteína e amido (MENDONÇA, 2005).

Mendonça (2000) trabalhou com extrudados de farinha de arroz e isolado \square uperfíc de soja e encontrou valores da DAF entre 0,15 a 0,45 g/cm³, valores estes considerados baixos em relação aos encontrados neste trabalho.

Mendonça (2005) trabalhou com produtos extrudados derivados de amaranto e arroz e encontrou DAF variando de 0,20 a 0,60 g/cm³, valores inferiores aos encontrados neste trabalho.

Os dados dos coeficientes de regressão (0,77 e 0,96) dos EGM e EGA encontram-se na Tabela 18, mostrando que mais de 77% e 96% explica a variação total de variável resposta. Observa-se, nos EGM, que ocorreu efeito linear negativo, efeito positivo quadrático da umidade e efeito negativo quadrático do gergelim a $P \leq 0,05$. Em contrapartida, nos EGA ocorreu efeito linear positivo, quadrático negativo da umidade, efeito linear e quadrático negativo do gergelim e interação da umidade e do gergelim, a 5% de probabilidade. Portanto, pode-se firmar que os dois modelos foram ajustados de modo satisfatório aos dados da DPF.

Nas Figuras 14A e 14B observa-se o comportamento da densidade pós-fritura dos experimentos com EGM e EGA, em função do teor de umidade e de gergelim.



Figuras 14 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DPF, dos *pellets* de grãos de milho (A) e grãos de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%)

Observa-se que a menor DPF (Figura 14A) foi obtida com 24% a 28% umidade e 22% a 26% de gergelim. Estes resultados mostram que a mistura destes dois componentes, grits de milho e gergelim em grão, produziu *pellets* menos densos, de menor porosidade, portanto, com menor expansão.

Na Figura 14B dos EGA observa-se que a menor DPF foi obtida com 24% e 25% de umidade, 12% a 26% de gergelim e 38% a 39% de umidade e 8% a 20% de gergelim em grão. Portanto, pode-se concluir que a menor expansão foi obtida em duas condições, com médio a alto teor de umidade e médio teor de gergelim.

Silva (2004) trabalhou com *pellets* elaborados com arroz e sacarose e encontrou DPF com valores de 0,19 g/cm³ a 0,22 g/cm³, os quais são considerados inferiores aos encontrados neste trabalho para os EGA. Tanto o teor de umidade quanto o teor de gergelim influenciaram a DPF dos pellets.

4.14 Índice de expansão volumétrica (IEV)

A expansão do material farináceo afeta a textura e a estrutura do produto final (CHEN; YEN, 2001). O processo de expansão pode ser descrito como a nucleação do vapor de água na saída da matriz, causando inchamento do extrudado imediatamente após a saída da matriz, seguido do crescimento das bolhas e de seu colapso (KOKINI et al., 1991). Os dados dos coeficientes de regressão do índice de expansão volumétrico encontram-se na Tabelas 17.

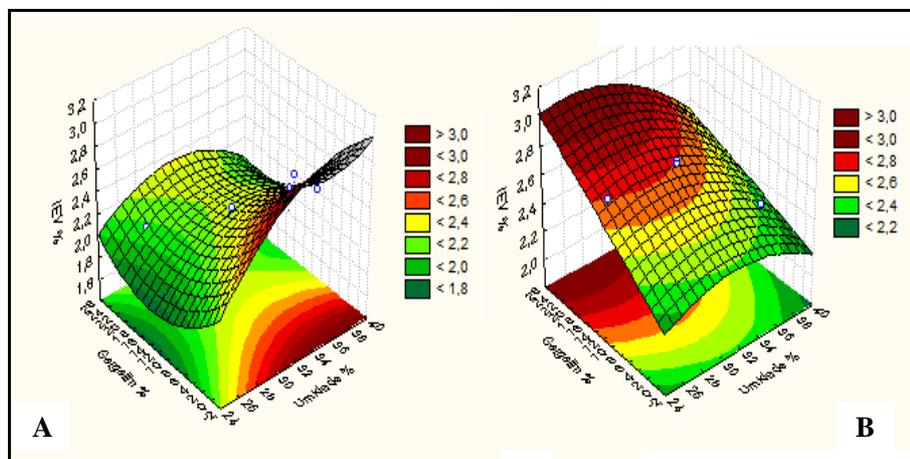
Tabela 17 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável índice de expansão volumétrica (IEV) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA).

	EGM	EGA
Coefficientes de regressão	IEV	IEV
Intercepto	-3,83581*	-0,190781ns
U (L)	0,36573*	0,035547*
U (Q)	-0,00496*	-0,000599*
GG (L)	-0,00523	-0,013016*
GG (Q)	0,00179*	-0,000220*
UxGG (L)	-0,00184*	0,000216*
R ²	0,89	0,96

Umidade (U), gergelim em grão (GG), índice de expansão (IEV), *significância a 5% de probabilidade e não significativo (ns)

Analisando-se os resultados obtidos para o IEV (Tabela 17), observa-se que os coeficientes de determinação são considerados altos (0,89 e 0,96), explicando 89% e 96% da variação total da variável resposta para os EGM e EGA. Portanto, pode-se observar, nos extrudados com EGM, que houve efeito linear positivo no teor de umidade, além de efeito quadrático negativo na mesma variável, efeito quadrático positivo no teor de gergelim e interação linear negativa no teor de umidade e teor de gergelim, com 5% de probabilidade. Em contrapartida, com EGA, pode-se observar efeito linear positivo e também efeito quadrático negativo no teor de umidade, efeito linear positivo no teor de gergelim e interação linear negativa nas variáveis (UxG), com $P \leq 0,05$.

Os gráficos tridimensionais de superfície de resposta apresentados nas Figuras 15^a e 15B representam o efeito das variáveis que contribuíram para os valores do IEV. Verifica-se nos EGM (Figura 15^a), sob 27% a 39% de umidade e 0,092% a 5% de gergelim em grão, que o IEV tendeu a aumentar para 3%, e influenciando o melhor ponto de expansão.



Figuras 15 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do IEV, dos *pellets* de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%)

Contudo, pode-se dizer que à medida que o teor gergelim foi reduzido nas formulações dos EGM o IEV aumentou, ou seja, o baixo teor de gergelim influenciou significativamente a expansão dos extrudados, enquanto a maior expansão nos EGA foi obtida com alto teor de gergelim e baixo teor de umidade.

Segundo Bhattacharya e Choudhury (1994), o IEV dos extrudados de arroz é, geralmente, alto, comparado ao de outros tipos de cereais, devido ao seu alto teor de amido. Mendonça (2005) trabalhou com extrusão de produtos derivados de amaranto e arroz e encontrou IEV variando de 1,18% a 3,09%, valores similares aos dados encontrados neste trabalho.

Segundo Chiang (1977), a expansão pode estar relacionada com o grau de gelatinização ocorrido no processo e com a taxa de evaporação (“flashing”) da água. A expansão está diretamente relacionada com a umidade e com a temperatura de extrusão e implica no decréscimo da densidade aparente (CHINNASWAMY; HANNA, 1988; GOMEZ; AGUILERA, 1984; KIRBY et al., 1988).

4.15 Força de compressão (FC) e força de ruptura (FR)

As estimativas dos coeficientes de regressão e das significâncias da força específica de ruptura e do trabalho de crocância, mediante a análise de textura dos extrudados fritos elaborados com grits de milho e grits de arroz e adição de gergelim em grão, encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis força de compressão e força de ruptura, exercida pelo texturômetro dos extrudados com grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão, após a fritura.

Coeficiente de regressão	EGM		EGA	
	FC/N	FR/N	FC/N	FR/N
Intercepto	0,216114*	-0,194665ns	2,6218755ns	0,353555ns
U (L)	0,031952ns	0,014885ns	-0,132591ns	-0,016136ns
U(Q)	-0,000897ns	-0,000210 ns	0,001953ns	0,000228ns
GG(L)	-0,014742ns	0,000044ns	0,057523ns	-0,003938ns
GG(Q)	-0,000162ns	0,000074ns	-0,000296ns	0,000087ns
UxGG(L)	0,000600ns	-0,000051ns	-0,001355ns	0,000022ns
R ²	0,38	0,25	0,70	0,49

Umidade (U), gergelim em grão (GG), força de compressão (FC), força de ruptura (FR); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os valores das estimativas dos coeficientes do modelo de regressão da força de compressão e da força de ruptura dos EGM e EGA fritos encontram-se na Tabela 18. Verificou-se que não houve efeito significativo para as variáveis umidades linear, quadrática; gergelim linear, quadrático e interação com coeficientes de regressão $R^2 = 38\%$ e 70% . Os EGM e EGA apresentam $R^2 = 25\%$ e 49% sem diferença significativa. Foi possível observar, nos dois delineamentos, que os valores dos coeficientes foram muito baixos, sem apresentar adequação aos valores das variáveis respostas, a ($P \leq 0,05$).

4.16 Força específica de ruptura (FSR) e trabalho de crocância (TC)

Os valores obtidos da força específica de ruptura e do trabalho de crocância mediante a análise de textura dos extrudados fritos elaborados com grits de milho, grits de arroz e adição de gergelim em grão encontram-se na Tabela 19.

As estimativas dos coeficientes de regressão e das significâncias da força específica de ruptura e do trabalho de crocância mediante a análise de textura dos extrudados fritos elaborados com grits de milho e grits de arroz e adição de gergelim em grão encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis força específica de ruptura e trabalho de crocância exercida pelo texturômetro dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão após a fritura.

Coeficiente de regressão	EGM		EGA	
	FSR	TC	FSR	TC
	N	N.mm ⁻¹	N	N.mm ⁻¹
Intercepto	80,81972ns	35,46815ns	0,353555ns	-4,76779ns
U(L)	-3,62543ns	-1,32035ns	-0,016136ns	7,08486*
U (Q)	0,04833ns	0,01107ns	0,000228ns	-0,11401*
GG(L)	0,01310ns	-0,20468ns	-0,003938ns	-0,36554
GG(Q)	-0,03053ns	-0,01288ns	0,000087ns	-0,03257*
UxGG (L)	0,02133ns	0,01599ns	0,000022ns	0,03703*
R ²	0,28	0,42	0,49	0,63

Umidade (U); gergelim em grão (GG); força específica de ruptura (FSR); trabalho de crocância (TC); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns)

As estimativas dos resultados da força específica de ruptura (FSR) dos EGM e EGA indicaram que as variáveis independentes percentuais de umidade e de gergelim não contribuíram para os valores da FSR em nenhum dos delineamentos. Além disso, os coeficientes de determinação de FSR apresentaram valores muito abaixo de 90% (0,28 e 0,49), podendo-se afirmar que os dados experimentais não se aplicaram aos modelos estatísticos propostos. Os resultados obtidos do trabalho de crocância (EGM) apresentaram coeficiente de determinação $R^2=0,42$, sem diferença significativa, a 5% de probabilidade. Em contrapartida, EGA apresentou coeficiente de determinação $R^2 = 0,63$, com modelo linear positivo; quadrático negativo para a variável umidade; quadrático negativo para gergelim e interação teor de umidade x teor de gergelim em grão, sendo possível demonstrar os valores graficamente com diferença significativa, a 5% de probabilidade.

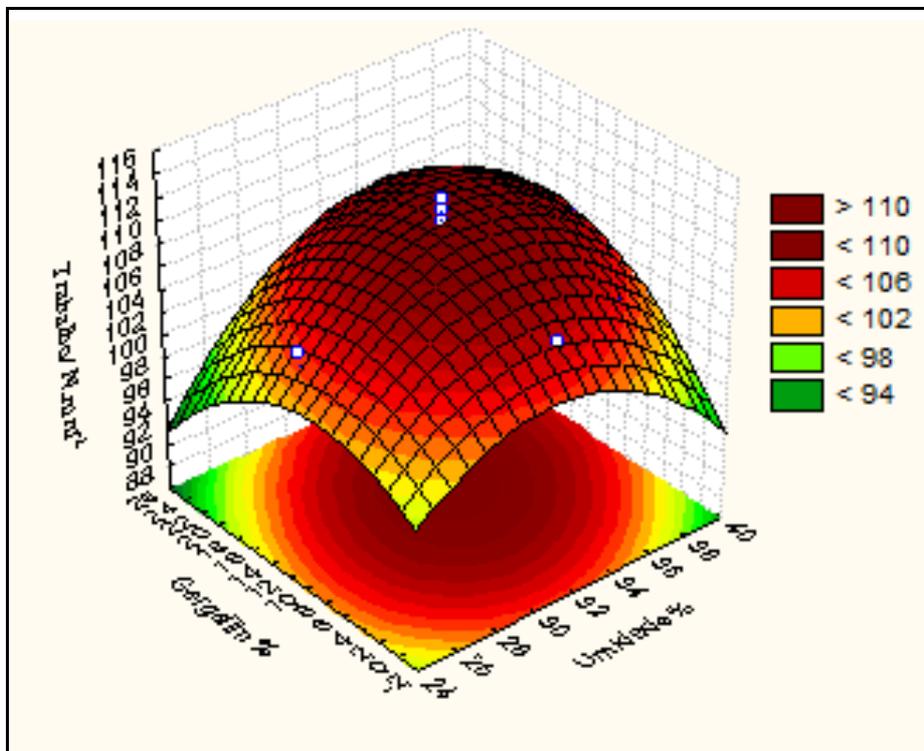


Figura 16 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do trabalho de crocância dos *pellets* de grãos de arroz com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%)

A representação gráfica (Figura 16) dos valores do TC na forma de superfície de resposta em relação às variáveis umidade e gergelim em grão foi bem acentuada em relação às duas variáveis. Verifica-se que, a 24% e a 39% de umidade e com 0,092% a 26% de gergelim, houve um aumento no trabalho de crocância (TC) para 110 N.mm^{-1} . Entretanto, com pontos extremos de umidade e de gergelim, foi obtida baixa crocância (94 N.mm^{-1}) nos extrudados. A maior crocância dos extrudados foi obtida com pontos centrais de umidade e de gergelim em grão. A textura é um fator de grande importância na

comercialização de extrudados e é influenciada pelas condições do processo de extrusão e de embalagem. Contudo, a propriedade estrutural dos extrudados depende, principalmente, da distribuição, do tamanho e da organização das células de ar no seu interior. As estruturas das células de ar estão associadas às características das paredes e determinam as características físicas, tais como propriedades mecânicas e acústicas, tanto quanto o perfil sensorial (BOUVIER; BONNEVILLE; GOULLIEUX, 1997).

4.17 Cor

Os valores obtidos da luminosidade (L^*) dos extrudados fritos elaborados com grits de milho e grits de arroz e adição de gergelim em grão encontram-se na Tabela 20.

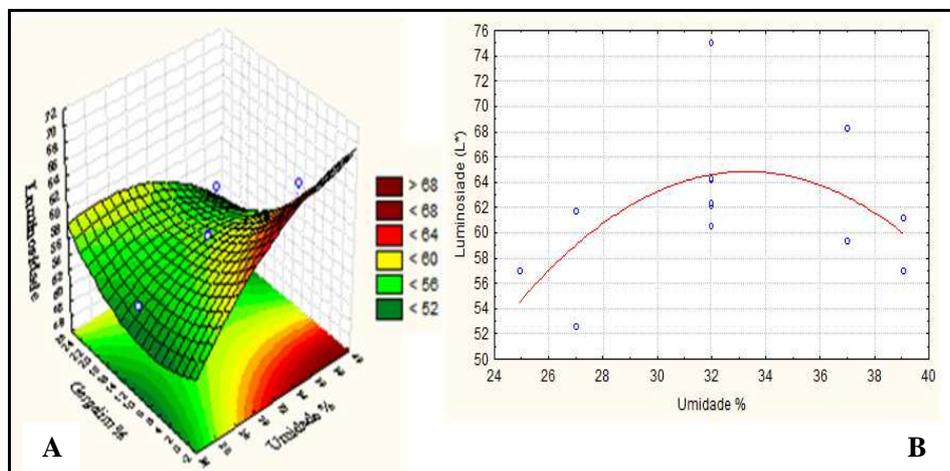
Tabela 20 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável luminosidade (L^*) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão, após a fritura

Coeficientes de regressão	EGM	EGA
	L^*	L^*
Intercepto	- 21,7073ns	-38,1454 ns
U(L)	4,3946 ns	6,4807*
U(Q)	-0,0544 ns	-0,0942*
GG(L)	0,9087 ns	-1,1051 ns
GG(Q)	0,0222 ns	0,0173 ns
UxGG(L)	-0,0532*	0,0024 ns
R^2	0,82	0,91

Umidade (U), gergelim em grão (GG), luminosidade (L^*),*significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os valores expressos de 0,82 e 0,91 explicam que 82% e 91% da variação total da variável resposta luminosidade, nos dois delineamentos, mostraram que foram ajustados aos dados experimentais, uma vez que, devido à variação, foi estatisticamente significativa, a 5% de probabilidade. Analisando-se as variáveis correspondentes ao experimento com EGM, observou-se interação linear negativa entre as variáveis independentes, com significância a 5% de probabilidade, contribuindo para a variável resposta. Em contrapartida, no experimento com EGA, pode-se perceber que houve contribuição linear positiva e quadrática negativa no teor de umidade aos valores da luminosidade L^* ($P < 0,05$), indicando que o efeito negativo linear do percentual da umidade é inversamente proporcional ao percentual do gergelim.

O gráfico da Figura 17 permite verificar o efeito das variáveis estudadas na variável resposta luminosidade L^* , eliminando-se dos gráficos os efeitos das variáveis não significativas. Portanto, é possível notar, nos EGM e gergelim em grão, que a maior luminosidade (68) foi obtida com valores variando de 26% a 39% de umidade e 0,092% a 6% de gergelim em grão, enquanto o menor valor (52) da L^* , ou do brilho, nos extrudados foi obtido com valores entre 24% a 39% de umidade e 0,092% a 24% de gergelim em grão. É possível perceber que o maior brilho dos extrudados foi influenciado pelo baixo teor de gergelim e o alto teor de umidade, portanto, sendo considerado o melhor ponto.



Figuras 17 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da luminosidade (L^*) dos *pellets* de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%).

É provável que, na mistura dos dois ingredientes, durante o processo de extrusão, tenha ocorrido reação de Maillard, pelos aminoácidos e carboidratos presente nas formulações dos extrudados, reação esta responsável pelas características da cor, como o brilho ou a luminosidade. Em contrapartida (Figura 17 B), nos extrudados com grits de arroz e gergelim foi observado que, aumentando-se o teor de umidade, existe um incremento na luminosidade dos extrudados, ou seja, a maior luminosidade, ou o melhor brilho, foi obtido com ponto central de umidade (32%). É provável que com a mistura de grits de arroz com 32% de umidade, durante o cisalhamento, ocorra cozimento ou caramelização, o que pode ter influenciado o maior brilho dos extrudados. Pode-se perceber que o delineamento de melhor resultado para a luminosidade foi o dos extrudados com grits de milho e gergelim em grão. Comparando-se com a luminosidade de extrudados de marca comercial (L^* 66,48, marca A; L^* 76,52,

marca B e 331,60, marca C) pode-se perceber que o brilho está mais próximo do encontrado para o snack da marca A.

Segundo Badrie e Mellowes (1991), a elevação da temperatura de extrusão aumenta a intensidade da cor e altos níveis de umidade resultam em produtos mais claros, pois o aumento da umidade reduz o tempo de residência, havendo, portanto, maior fluidez dentro do extrusor, proporcionando menor escurecimento não enzimático dos produtos extrudados.

4.17.1 Cromaticidade a*

Segundo Mazza et al. (1999), a coloração dos alimentos é definida pela presença de pigmentos e a cromaticidade está diretamente relacionada com a pureza da cor das amostras. Assim, quanto mais forte e brilhante for a cor, mais distantes da origem das coordenadas estarão os resultados (CIE, 1978).

Os valores dos coeficientes de regressão dos EGM e EGA encontram-se na Tabela 21, demonstrando efeito quadrático negativo no gergelim, com $R^2=0,83$. Em contrapartida, nos EGA, apresentou-se sem diferença significativa, apesar de ter sido encontrado $R^2=0,90$, considerado alto para os valores da variável croma a*.

Tabela 21 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável cromaticidade a^* dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão, após a fritura.

Coeficientes de regressão	EGM	EGA
	Croma a^*	Croma a^*
Intercepto	19,61015*	4,717912 n.s
U(L)	-0,47854ns	-0,222066 n.s
U(Q)	0,00009ns	0,003221 n.s
GG(L)	0,01062ns	0,277053 n.s
GG(Q)	-0,00591*	0,000171 n.s
UxGG(L)	0,00838ns	-0,003783 n.s
R^2	0,83	0,90

Umidade (U), gergelim em grão (GG), cromaticidade a^* , *significância, a 5% de probabilidade; não significativo (ns)

Contudo, na Figura 18 (EGM), foi verificado que, sob as porcentagens de 0,092% a 18% de gergelim, foi obtido maior valor da cromaticidade a^* , ou seja, quando o croma a^* se aproxima de +60 (vermelho), os extrudados processados com grits de milho tendem a aumentar de 4 para 7. Portanto, pode-se afirmar que maiores valores de gergelim nos tratamentos contribuíram para maior cromaticidade a^* . Quando comparada com a coordenada a^* de marcas comerciais (snack da marca A, $a^* = 16,25$ e snack da marca B, $a^* = 8,90$), pode-se perceber que houve diferença nos valores. Provavelmente houve influência do tipo e da formulação do extrudado.

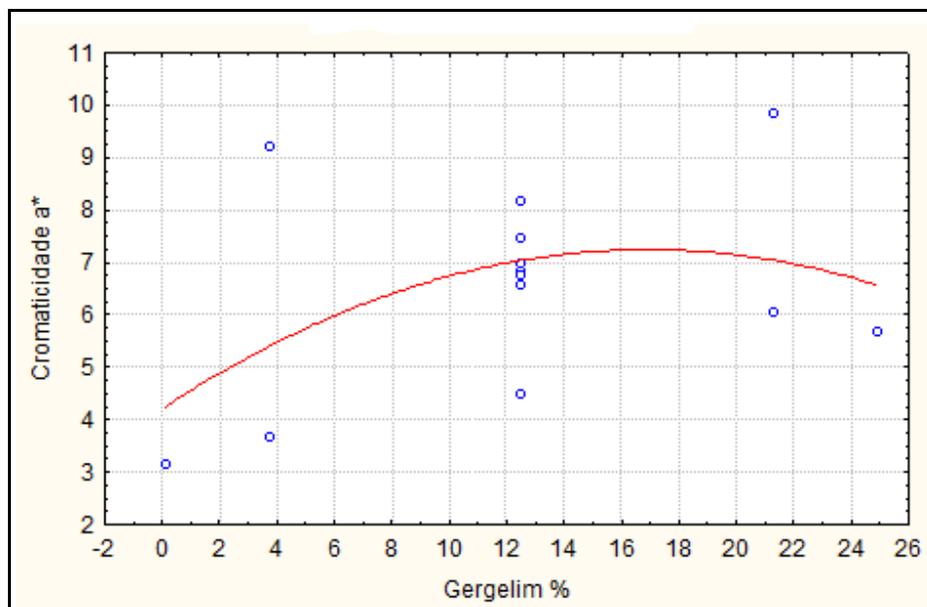


Figura 18 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da cromaticidade a^* dos *pellets* de grits de milho com adição de gergelim em grão, em função dos níveis gergelim em grão (%)

Menegassi et al. (2007) trabalharam com extrudados de mandioca-salsa e encontraram cromaticidade a^* com valores entre 4 a 10, os quais são similares ao encontrado neste trabalho.

4.17.2 Cromaticidade b^*

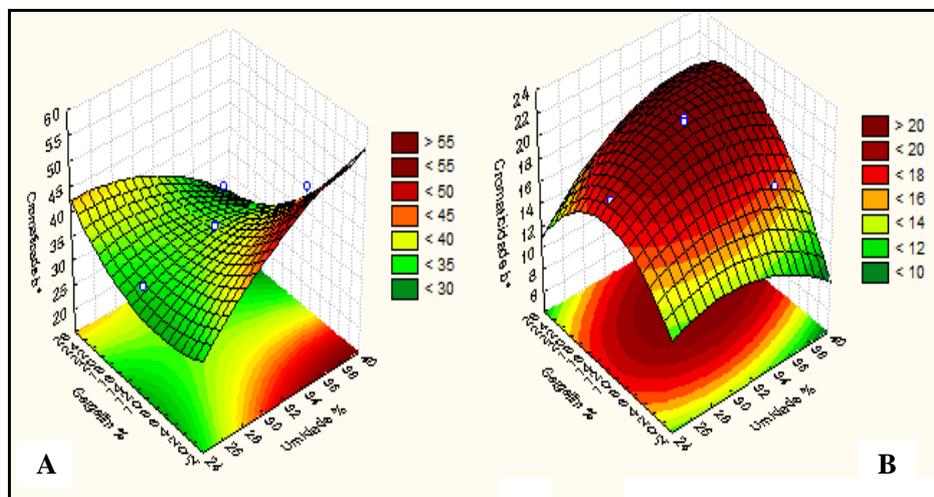
Os valores da cromaticidade b^* e da diferença de cor (ΔE) dos extrudados fritos elaborados com grits de milho e grits de arroz com adição de gergelim em grão encontram-se na Tabela 22.

Tabela 22 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável cromaticidade b^* dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de gergelim em grão, após a fritura.

Coeficientes de regressão	EGM	EGA
	b^*	b^*
Intercepto	-59,7228ns	-20,3368ns
U(L)	5,3923ns	2,3779*
U(Q)	-0,0647ns	-0,0399*
GG(L)	1,5912ns	0,0347ns
GG(Q)	0,0330ns	0,0298*
UxGG (L)	-0,0862*	-0,0264*
R^2	0,85	0,94

Umidade (U), gergelim em grão (GG), cromaticidade (b^*), *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns)

Os valores dos coeficientes de determinação $R^2 = 0,85$ e $0,94$ do croma b^* apresentaram o modelo de interação para as variáveis umidade e gergelim (UxGG), contribuindo para a escala de cor do croma b^* , a 5% de probabilidade (EGM). Já o coeficiente de determinação ($0,94$) do croma b^* (EGA) explicou 94% da variação total da variável resposta com efeito linear positivo, quadrático negativo no teor de umidade ($P \leq 0,05$), seguido do efeito quadrático positivo no teor de gergelim e efeito na interação com a umidade e o gergelim, a ($P \leq 0,05$). Dessa forma, torna-se importante discutir as interações do efeito da umidade e do gergelim pelas ilustrações gráficas, de forma tridimensional, mostrando que houve aumento no croma b^* com 32% a 39% de umidade e 0,092% a 6% de gergelim em grão. Já com 24% a 39% de umidade e 0,092% a 20% de gergelim, houve redução de 55 para 30 na cromaticidade b (Figura 19 A). É possível avaliar que o alto valor de umidade e o baixo valor de gergelim influenciou na variação do croma b^* , considerando assim a melhor região dos resultados.



Figuras 19 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da cromaticidade b^* , dos *pellets* de grãos de milho (A) e grãos de arroz (B) com adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%)

Em contrapartida, na Figura 19B, observa-se que, para valores acima de 32% de umidade e próximo de 14% de gergelim em grão, houve aumento no croma b^* . Entretanto, com 32% a 39% de umidade e 22% a 26% de gergelim, ocorreu um decréscimo na cor de 20 para 10, com tendência da cor de amarelo para azul. Portanto, é possível avaliar que o ponto ótimo da cromaticidade b^* foi obtido com 32% de umidade e 12,50% de gergelim. Ao comparar o croma b^* dos extrudados de grãos de arroz com algumas marcas comerciais ($b^* = 16,25$ e snack da marca comercial B, $b^* = 18,49$ e snack da marca comercial C, $b^* = 19,12$), pode-se dizer que se encontram dentro do padrão.

4.17.3 Diferença de cor (ΔE)

Tabela 23 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável diferença de cor (ΔE) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de gergelim em grão, após a fritura.

Coeficientes de regressão	EGM	EGA
	ΔE	ΔE
Intercepto	36,58121*	61,82525n.s
U(L)	2,03762*	1,47795 n.s
U(Q)	-0,01711ns	-0,02195n.s
GG(L)	0,41939ns	-0,86172 n.s
GG(Q)	0,0115*	-0,00995n.s
UxGG (L)	-0,02963*	0,01976n.s
R ²	0,86	0,88

Umidade (U), gergelim em grão (GG), diferença de cor (ΔE), *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os coeficientes de determinação (Tabela 23) apresentaram valores de 0,86 e 0,88, explicando 86% e 88% da variação total da variável resposta. Os dados obtidos (EGM) indicam que a umidade teve efeito linear positivo e interação linear negativa com $R^2 = 0,86$, contribuindo para a variável resposta, a 5% de probabilidade. Em contrapartida (EGA), apesar de o coeficiente de determinação ter sido considerado alto (0,88), o modelo não apresentou diferença significativa a ($P \leq 0,05$) e nenhuma variável em estudo afetou significativamente o incremento da diferença da cor dos *pellets* de grits de arroz e adição de gergelim em grão.

Pelo gráfico da Figura 20 dos extrudados com grits de milho e gergelim em grão, pode-se verificar o efeito das variáveis estudadas na variável

resposta diferença de cor (ΔE). Nota-se que, de acordo com os resultados, essa contribuição é inversamente proporcional à variável quadrática gergelim. Portanto, pode-se dizer que, a partir do aumento da umidade (24% a 26% e de 6% a 20%) do gergelim, ocorre tendência para maior diferença de cor entre os extrudados.

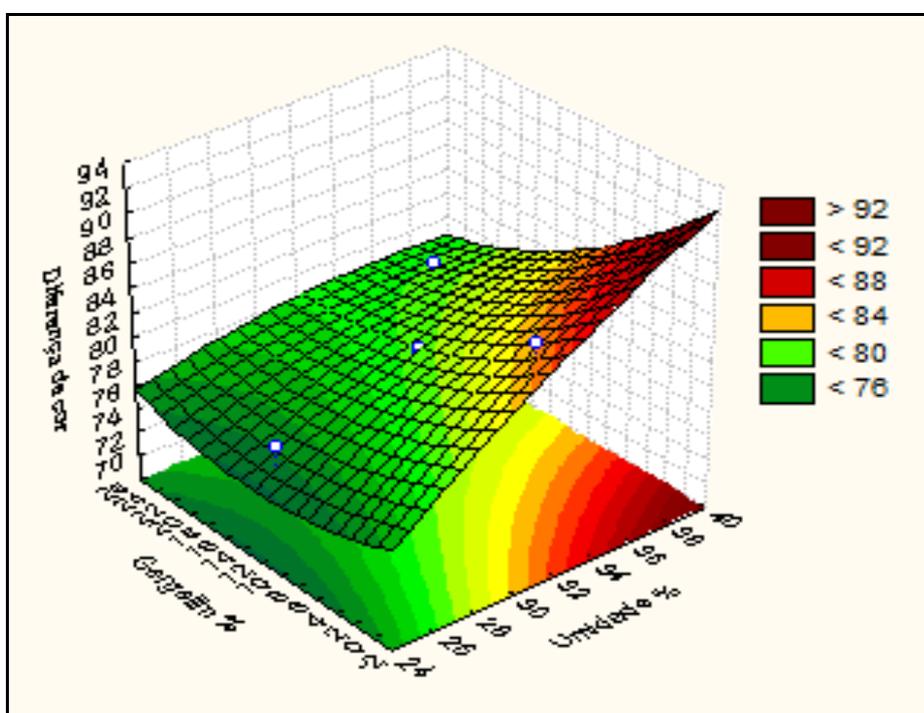


Figura 20 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da diferença de cor dos *pellets* de grãos de milho e adição de gergelim em grão, em função dos níveis de umidade (%) e gergelim em grão (%)

Da mesma forma, com valores de 32% a 39% de umidade e valores baixos de gergelim em grão, houve tendência para a maior diferença de cor entre os extrudados. Isso significa que o betacaroteno encontrado no grits de milho foi predominante para esta propriedade e a influência da extrusão sob o processo da mistura resultou numa marcante diferença de cor.

Delgado-Nieblas, Palazuelos-Aguilar e Infante-Gallegos (2012) trabalharam com farinha de squash winter (*Cucurbita moschata* D.), em snacks de terceira geração e encontraram alto valor na diferença de cor dos extrudados.

Borba, Sarmento e Leonel (2005) trabalharam com extrudado de farinha de batata-doce e verificaram que a diferença de cor aumentou com a redução da umidade, independente da variação da temperatura de extrusão. Neste experimento dos extrudados com grits de milho, o aumento da umidade influenciou a maior diferença de cor.

4.18 Viscosidade inicial de pasta e viscosidade máxima

As estimativas dos coeficientes de regressão e significâncias dos valores da viscosidade inicial de pasta e viscosidade máxima dos extrudados crus elaborados com grits de milho e de *grits* de arroz e adição de gergelim em grão encontram-se na Tabela 24.

Tabela 24 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis viscosidade inicial de pasta (VIP) e viscosidade máxima (VMAX) dos extrudados de *grits* de milho (EGM) e *grits* de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão, antes da fritura.

Coeficientes de regressão	EGM		EGA	
	VIP	VMAX	VIP	VMAX
	Cp	Cp	Cp	Cp
Intercepto	224,7723ns	760,3848n.s	42,0816n.s	1704,782 n.s
U(L)	-6,4664ns	-27,9438n.s	-0,2394n.s	-91,796 n.s
U(Q)	0,0659ns	0,3611 n.s	-0,0185n.s	1,439 n.s
GG(L)	-5,9684*	14,5182 n.s	-5,0498n.s	31,003 n.s
GG(Q)	-0,0821ns	0,3897 n.s	0,1088n.s	-0,608 n.s
UxGG(L)	0,2145*	-0,8550n.s	0,0290n.s	-0,584 n.s
R ²	0,60	0,83	0,82	0,72

Umidade (U), gergelim em grão (GG), viscosidade inicial de pasta (VIP) e viscosidade máxima (VMAX), *, *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Nos EGM foi obtido efeito linear negativo com os valores de gergelim, em função da viscosidade inicial de pasta, com diferença significativa a 5% de probabilidade, mas com baixo coeficiente de regressão, $R^2 = 0,60$. O coeficiente de determinação da viscosidade máxima foi considerado alto (0,83), explicando que houve 83% da variação total da variável resposta em torno da média, mas não foi estatisticamente significativa, a 5% de probabilidade. As variáveis independentes do processo de extrusão dos extrudados com *grits* de arroz (EGA) não apresentaram efeito significativo com relação ao modelo apresentado aos dados da viscosidade inicial de pasta, com $R^2 = 0,83$, considerado um alto coeficiente de determinação. Já na viscosidade máxima foi atingido um coeficiente de determinação com $R^2 = 0,72$, sem diferença significativa.

4.18.1 Breackdown (Cp) e setback dos extrudados antes da fritura

A viscosidade de quebra é uma indicação de reassociação entre as moléculas de amido, indicada por um aumento na viscosidade, durante o resfriamento, o qual está relacionado com o amido que sofreu retrogradação e reordenação de suas moléculas (RAGAE; ABDEL-AAL, 2006). Baixos valores de *setback* indicam baixas taxas de retrogradação e sinerese do amido, ocorrido devido ao rearranjo da molécula de amilose em um baixo nível energético. Os resultados da quebra da viscosidade (*breackdown*) e do *setback* dos extrudados crus elaborados com *grits* de milho (EGM) e *grits* de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão encontram-se na Tabela 25.

Tabela 25 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis viscosidade de quebra (VQ) e *setback* dos extrudados de *grits* de milho (EGM), *grits* de arroz (EGA) e adição de gergelim em grão, antes da fritura.

Coeficientes de regressão	EGM		EGA	
	VQ	SETBACK	VQ	SETBACK
Intercepto	1845,950*	2392,716 n.s	2233,570n.s	6440,203*
U(L)	-106,186*	-114,476 n.s	-112,984n.s	-377,87*
U(Q)	1,569*	1,606 n.s	1,495n.s	5,818*
GG(L)	9,320ns	10,773 n.s	-7,660n.s	36,986ns
GG (Q)	0,196ns	0,156 n.s	0,143n.s	-1,063ns
UxGG(L)	-0,441ns	-0,694 n.s	0,071n.s	-0,435ns
R ²	0,87	0,87	0,72	0,72

Umidade (U), gergelim em grão (GG), viscosidade quebra (VQ) e *setback* ou tendência à retrogradação *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os coeficientes de determinação $R^2 = 0,87$ (EGM) apresentaram diferença significativa, a 5% de probabilidade, com umidade linear negativa e quadrática positiva. O modelo foi ajustado conforme os dados da variável resposta viscosidade de quebra. Entretanto, nos EGA, foi encontrado coeficiente de regressão $R^2 = 0,72$, com os efeitos estatísticos não significativos, a 5% de probabilidade. Na Figura 21 está representado o efeito da umidade sobre a viscosidade de quebra (*breakdown*) dos extrudados crus de *grits* de milho e gergelim em grão. Quando os *pellets* se encontram com alto teor de umidade, 39%, a viscosidade de quebra tende a ser reduzida para 20 Cp. Entretanto, com valor de 24% de umidade, a VQ tende a aumentar para 110 Cp.

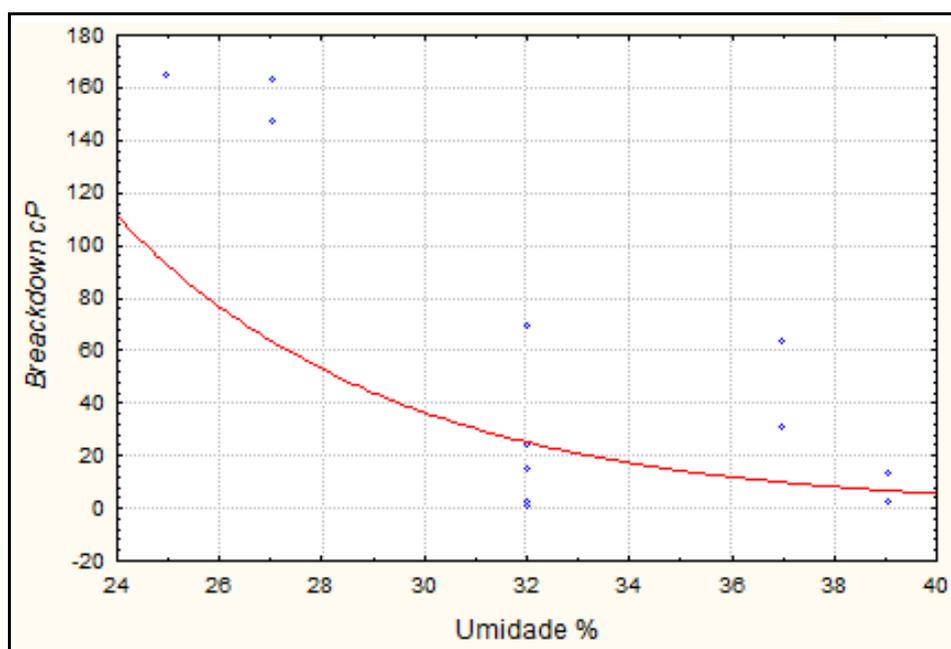


Figura 21 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da viscosidade de quebra (*breakdown*) dos *pellets* de *grits* de milho com adição de gergelim, em função dos níveis de umidade (%)

Verifica-se que quanto maior foi o teor de umidade, menor foi a viscosidade de quebra do amido dos extrudados com *grits* de milho. Isso significa que, durante o processo de extrusão, os grânulos de amido de milho sofreram maior degradação, com baixo teor de água. Contudo, o *breakdown* não está só relacionado com o amido, mas com a tensão de cisalhamento que ocorreu em constante rotação do parafuso e com o aquecimento contínuo, causando ruptura e resultando em diminuição da viscosidade. Isso também está relacionado com a morfologia da amilose e da amilopectina e com o conteúdo de amido danificado (MISHRA; RAI, 2006).

Por outro lado, a interferência de materiais de peso molecular superior ao que ocorre com as cadeias de amilose e amilopectina ocasiona prováveis alterações nas propriedades funcionais do amido puro, como, por exemplo, a retrogradação e a capacidade de absorção de água (CARVALHO et al., 2010).

Nota-se que, tanto nas regressões lineares quanto quadráticas para os EGM nos modelos da umidade e do gergelim, não houve efeito significativo ($P > 0,05$), apesar de ter apresentado coeficiente de determinação alto (0,87). Em contrapartida, para os EGA, tanto nas regressões lineares quanto nas regressões quadráticas de umidade, os valores foram significativos ($P > 0,05$), indicando que a variável independente contribuiu para os valores do *setback*. Além disso, o coeficiente de determinação apresentou valor $R^2 = 0,72$, demonstrando que este modelo se aplica aos dados experimentais do *setback* dos extrudados com *grits* de arroz e gergelim.

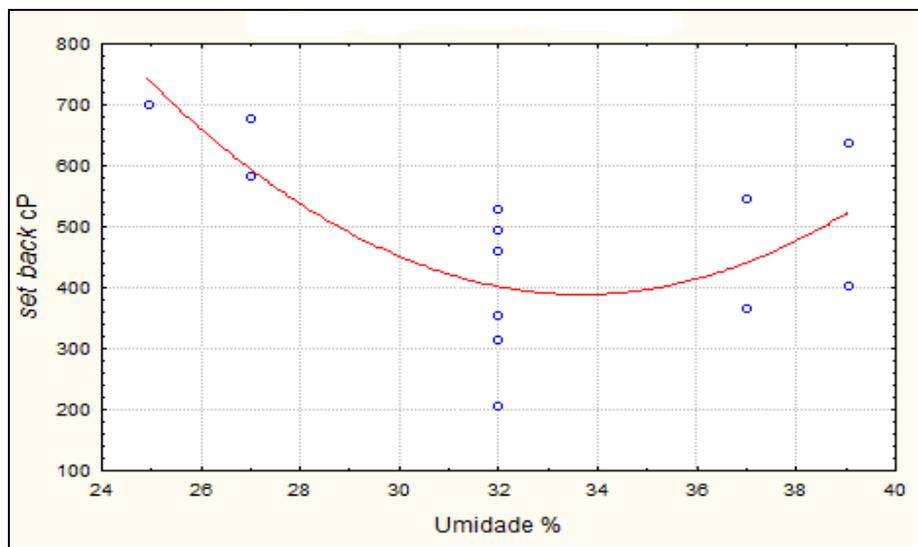


Figura 22 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do *setback* dos *pellets* de grits de arroz com adição de gergelim, em função dos níveis de umidade (%)

Pelo gráfico da Figura 22 observa-se efeito negativo no teor de umidade com relação aos dados obtidos do *setback* nos EGA. Verificou-se que quanto menor foi seu conteúdo de água (24%), maior foi o efeito de retrogradação (700 Cp) para os extrudados de grits de arroz, evidenciando menor proporção de água no sistema e aumentando o *setback* na mistura de grits de arroz com gergelim em grão. Contudo, é possível afirmar que a retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina (CARVALHO et al., 2002), decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido por meio da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitado e ou de géis (GUTKOSKI, 2000).

4.19 Vazão (kg/h) dos extrudados de *grits* de milho e *grits* de arroz e adição de torta de gergelim desengordurada (TGD)

Os respectivos valores da vazão, IAA e ISA dos extrudados de *grits* de milho (EGM) e extrudados de *grits* de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada (TGD) são apresentados na Tabela 26.

Os resultados obtidos nos EGM resultaram em modelo quadrático positivo na variável gergelim, com $R^2 = 0,63$. Portanto, o modelo apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) com os dados de variável resposta vazão. Em contrapartida, nos EGA, analisando-se os resultados expostos, observou-se que o coeficiente de determinação expressou o valor de 0,94, explicando mais de 90% da variação total da variável resposta. Contudo, pode-se perceber que houve contribuição linear positiva, quadrática negativa do teor de umidade, efeito quadrático negativo na TGD e interação nos valores da vazão. Analisando-se as interações entre as variáveis independentes, pode-se observar que a umidade e a TGD foram significativas, a 5% de probabilidade, contribuindo para a variável resposta vazão. Portanto, é possível demonstrar graficamente os resultados.

Tabela 26 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: vazão, índice de absorção em água e índice de solubilidade em água dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada (TGD).

CR	EGM			EGA		
	Vazão (kg/h)	IAA g/g	ISA %	Vazão (kg/h)	IAA g/g	ISA %
Intercepto	2,374561ns	-2,33095ns	-1,69092ns	-7,44730*	13,35045ns	12,00296*
U (L)	0,225958ns	0,54873 n.s	0,62981*	0,71178*	-0,35592ns	-0,15330ns
U (Q)	-0,005606ns	-0,01020 n.s	-0,01266*	-0,01386*	0,00315ns	0,00239ns
TGD(L)	-0,238188ns	-0,08425 n.s	-0,19064*	-0,04584ns	-0,17930ns	-0,51053*
TGD(Q)	0,004999*	0,00181 n.s	0,00027ns	-0,00202*	0,00281*	0,00229*
UxTGD(L)	0,001105ns	0,00024 n.s	0,00553*	-0,00441*	0,00139ns	0,01191*
R ²	0,63	0,54	0,38	0,94	0,85	0,78

Coefficiente de regressão (CR), umidade (U), torta de gergelim desengordurada (TGD), índice de absorção em água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA), *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

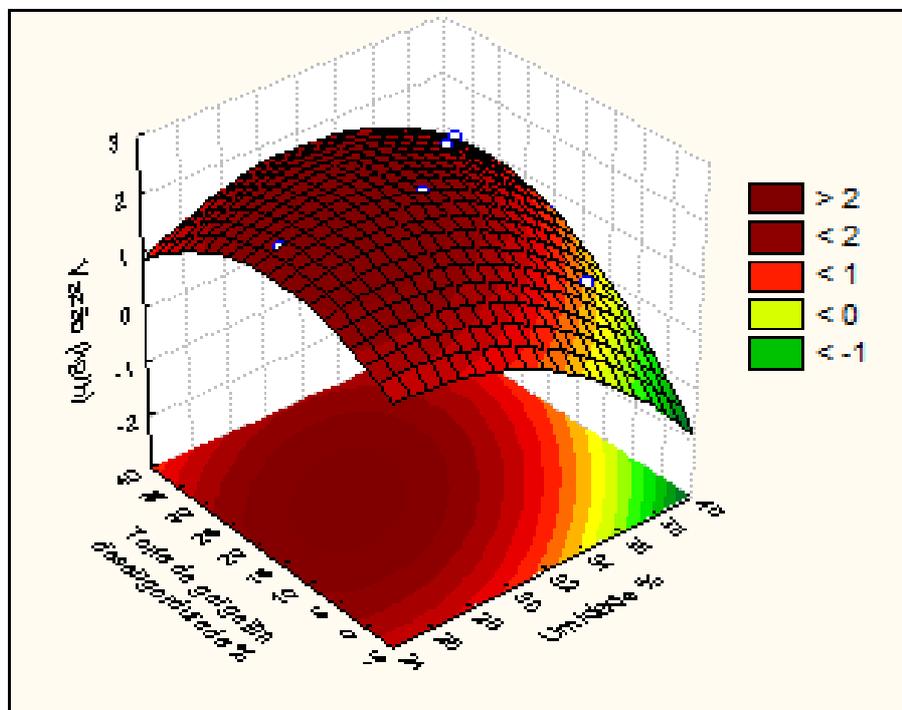


Figura 23 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da vazão dos pellets de grits de arroz com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e da TGD (%)

Analisando-se o gráfico da Figura 23, em forma de superfície de resposta, observa-se a maior vazão para os extrudados elaborados com 24% a 39% de umidade e 0% a 39% de TGD. Enquanto que, com 36% a 39% de umidade e 0% a 5% de TGD, a vazão tendeu a ser reduzida. Portanto, pode-se afirmar que a maior vazão foi influenciada pela extrusão, com valores altos de umidade e de TGD. A taxa da vazão depende do equipamento, da taxa de escoamento, do cilindro e da matriz. Uma taxa de vazão seria zero se a matriz estivesse totalmente fechada, tornando, assim, a geração da pressão da rosca para o infinito, no limite do potencial e no consumo energético do equipamento (MILLER; MULVANEY, 2000).

A vazão é um dado relevante para o processo industrial, se considerarmos que a produtividade do processo de extrusão é dependente, entre outros fatores, da vazão volumétrica da matriz (MILLER; MULVANEY, 2000).

Analisando-se os resultados obtidos para IAA, neste estudo (Tabela 26), observa-se que os coeficientes de determinação (0,54 e 0,85) explicam 54% (EGM) e 85% (EGA) da variação total da variável resposta. As variáveis independentes do processo de extrusão dos EGM não apresentaram diferença significativa, a 5% de probabilidade, enquanto, nos EGA, a variável TGD apresentou efeito quadrático positivo, com diferença significativa ($P \leq 0,05$).

A observação da Figura 24 permite verificar o efeito da variável TGD (%) na variável resposta IAA, eliminando-se do gráfico os efeitos das variáveis não significativas. A variação do IAA aumentou de 3,0 para 5,5 g/gel, à medida que o teor de TGD teve efeito reduzido, com ponto mínimo 0,01%. Em contrapartida, o IAA diminuiu para 3,8 g/gel, à medida que o teor de TGD aumentou para 35%, ponto máximo de TGD.

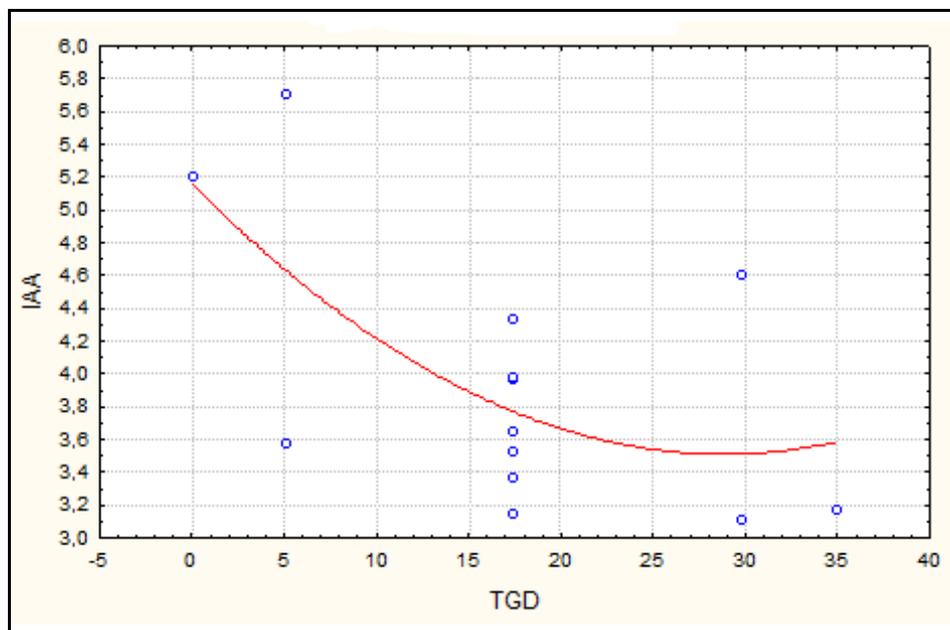


Figura 24 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do IAA dos *pellets* de grãos de milho e adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Segundo Cedrola (2009), a degradação do amido leva a uma maior solubilização e há uma redução nos valores do IAA. A temperatura e a taxa de cisalhamento também podem provocar ruptura na estrutura amilácea e diminuir os valores de IAA. Essa afirmativa também está presente no estudo de Hagenimana, Ding e Fang (2006).

Além disso, a retrogradação pode ocorrer durante a estocagem dos extrudados, provocando uma menor quantidade de amido disponível para absorver água, proporcionando menor absorção. Sendo assim, as condições que favorecem a gelatinização e desfavorecem a degradação contribuíram para os maiores valores do IAA neste trabalho, pois os mesmos foram extrudados com baixo teor de TGD (CEDROLA, 2009).

Araújo (2010) encontrou IAA entre 5,6 a 7,2 IAA, em extrudado (*pellet*) enriquecido com fruto-oligossacarídeos. Este resultado é semelhante ao do presente trabalho, pois o processamento ocorreu com elevado teor de umidade. O resultado de IAA indica o grau de modificação ocorrido na estrutura granular do amido pela ação da combinação do calor e cisalhamento. Com a estrutura modificada, abrem-se caminhos ou aberturas na estrutura, que permitem a entrada de água, o que facilita o inchamento e o aumento do IAA.

Camargo et al. (1988) trabalharam com extrudados de farelo e fécula de mandioca, Hashimoto e Grossmann (2003) e verificaram que, com o aumento da temperatura, houve redução no IAA. Os autores atribuíram o fato à possível degradação do amido, com umidade variando de 16% a 20%, valores de temperatura de 150 °C a 210° C e rotação do parafuso de 120 a 180 rpm. No presente trabalho, os extrudados foram processados com temperatura variando de 60 °C a 100 °C, rotação do parafuso 100 rpm e alta temperatura, obtendo menor IAA com ponto central de TGD (17,50%).

Nos EGM e EGA, para os resultados apresentados para a variável resposta ISA, observou-se que os coeficientes de determinação expressaram valores de 0,38 e 0,78, explicando 38% (EGM) e 78% (EGA) da variação total da variável resposta. Os dados obtidos na análise dos EGM apresentaram efeito linear positivo, quadrático negativo para umidade e efeito linear negativo para a TGD. Por outro lado, as interações entre as variáveis independentes foram significativas, a 5% de probabilidade, contribuindo para a variável resposta. Entretanto, o gráfico não pode ser apresentado, devido ao fato de valor de $R^2=0,38$ ter sido considerado muito baixo (0,38).

Em contrapartida, nos EGA observou-se efeito linear negativo, quadrático positivo com valor de TGD e interação (Ux TGD) com efeito significativo ($P \leq 0,05$) e coeficiente de determinação $R^2 = 0,78$, demonstrando que o modelo se ajustou bem aos dados obtidos do ISA. Portanto, na Figura 25, verificam-se os resultados do ISA em forma de superfície de resposta. Contudo,

pode-se afirmar que o maior valor do ISA foi obtido com pontos mínimos de umidade, 24% a 30% e ponto mínimo de TGD, 0% a 10%. Em contrapartida, os menores valores foram obtidos com ponto máximo de umidade, 24% a 39% e de TGD, 20% a 40%.

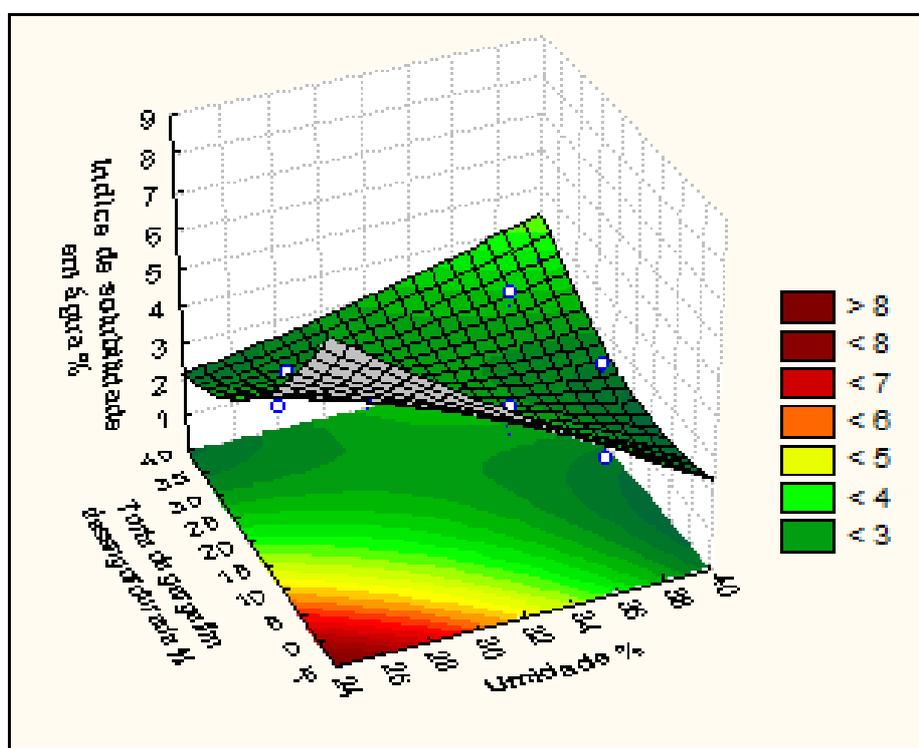


Figura 25 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do ISA, dos *pellets* de grãos de arroz com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Durante o processo de extrusão, os componentes do amido de arroz, amilose e amilopectina podem ser degradados a moléculas de massa molecular mais baixa, algumas das quais são solúveis em água (CHOUDHURY; GAUTAM, 1998). Assim, quanto maior a degradação, maior será o ISA. O aumento da solubilidade, verificado em produtos extrudados, é atribuído à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina, como a superfície da gelatinização, quando as condições são mais brandas e à formação de compostos de baixo peso molecular, quando as condições são mais drásticas (COLONNA et al., 1984).

Contudo, Mendonça (2000) trabalhou com extrudados não expandidos à base de arroz e isolado de soja, com temperaturas de 43 °C a 76,82 °C e umidade da matéria-prima entre 26,59% a 43,41%, e encontrou valores de ISA entre 1,128% a 8,268%, similares aos encontrados neste trabalho.

4.20 Densidade absoluta (DABS)

Na Tabela 27 encontram-se os respectivos valores da densidade absoluta (DABS) dos extrudados de grits de milho e grits de arroz com adição de torta de gergelim desengordurada (TGD).

Tabela 27 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável densidade absoluta (DABS) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada (TGD).

Coeficientes de regressão	EGM	EGA
	DABS	DABS
Intercepto	-2,38632*	1,677673ns
U(L)	0,24109*	-0,013271ns
U(Q)	-0,00369*	0,000225ns
TGD(L)	-0,00703ns	0,000423ns
TGD(Q)	0,00029*	-0,000004ns
UxTGD(L)	-0,00007ns	-0,000052ns
R ²	0,78	0,58

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); densidade absoluta (DABS); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

As estimativas e os coeficientes de determinação da DABS dos EGM e EGA estão apresentados na Tabela 27. Os valores de $R^2 = 0,78$ (EGM) e $R^2 = 0,58$ (EGA) explicam 78% e 58% da variação total da variável resposta, com efeito linear positivo, quadrático negativo para a umidade e efeito quadrático positivo para a TGD. Em contrapartida, nos EGA não apresentou efeito significativo, a 5% de probabilidade.

Na Figura 26 são apresentados os resultados da DABS dos extrudados de grits de milho e TGD, em forma de superfície de resposta. Observa-se que, com alto teor de umidade (27% a 39%), resultou 1,6g/MI de DABS, quando combinado com 17% a 40% de TGD. O menor valor da DABS foi obtido com menor ponto axial de umidade (24,90%) e ponto central de TGD (17,50%). Dessa forma, é interessante considerar que o teor de água e de TGD teve efeito significativo para o aumento da densidade absoluta dos extrudados de grits de milho e TGD.

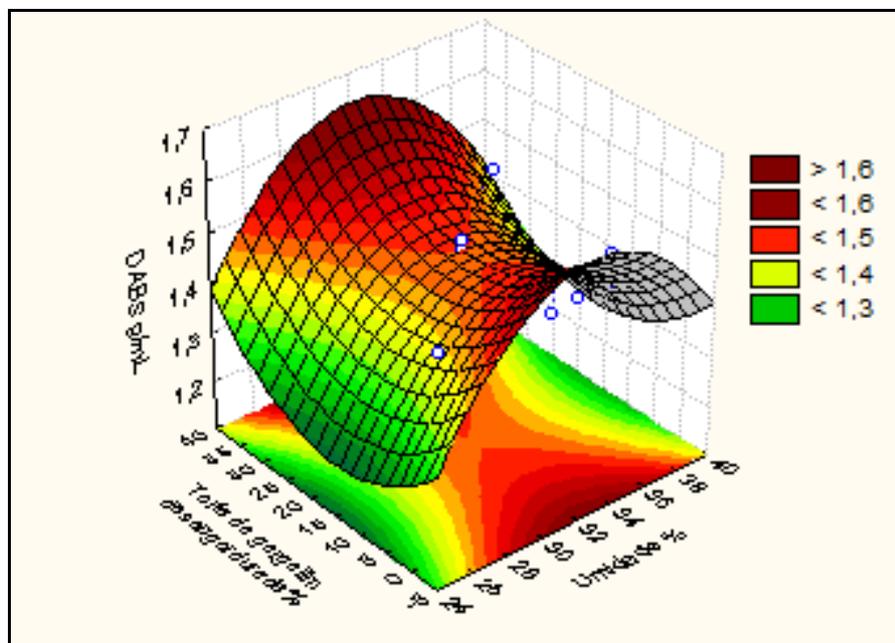


Figura 26 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DABS, dos *pellets* de grãos de milho com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Thymi et al. (2005) afirmam que a redução da densidade está associada às temperaturas acima de 150 °C. Neste trabalho, a baixa DABS dos extrudados foi obtida com temperaturas variando de 60 °C a 100 °C.

Conforme Onwulata et al. (2001), extrudados elaborados com fibra alimentar tendem a reduzir a DABS. Neste trabalho, o teor de torta de gergelim adicionado nas formulações, influenciou para maior densidade absoluta. Este efeito mostrou que a temperatura (100 °C) e o alto teor de TGD (>32%) a densidade dos extrudados aumentou o dobro. Isso pode estar associado à redução da viscosidade do material fundido no interior da extrusora, bem como à quebra da matriz amilácea pela estrutura da fibra contida na torta de gergelim desengorudrada.

4.21 Porosidade (Po)

Tabela 28 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável porosidade (Po) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada (TGD).

Coeficientes de regressão	EGM	EGA
	PO	PO
Intercepto	-0,135636ns	0,330186*
U(L)	0,027975ns	-0,000279ns
U(Q)	-0,000418ns	0,000008ns
TGD(L)	0,002273ns	-0,000353ns
TGD(Q)	-0,000012ns	-0,000001ns
UxTGD(L)	-0,000073ns	-0,000006ns
R ²	0,35	0,92

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); densidade absoluta (DABS); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os dados dos coeficientes de determinação da porosidade (Po) dos EGM e dos EGA com adição de TGD são apresentados na Tabela 28. Nota-se coeficiente de determinação ($R^2 = 0,35$) nos EGM considerado muito baixo, sem apresentar diferença significativa ($P > 0,05$). E nos EGA ($R^2 = 0,92$), apesar de ter sido considerado um alto coeficiente de determinação, não houve diferença significativa, a 5% de probabilidade, para a variável resposta.

4.22 Densidade antes da fritura (DAF) e densidade pós-fritura (DPF)

Tabela 29 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis densidade antes da fritura (DAF), densidade pós-fritura (DPF) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de torta de gergelm desengordurada (TGD).

CR	EGM		EGA	
	DAF	DPF	DAF	DPF
Intercepto	0,239908ns	3,693388*	-0,076869ns	-1,41794*
U(L)	0,029981ns	-0,213301*	0,054390*	0,11967*
U(Q)	-0,000396ns	0,003305*	-0,000844*	-0,00190*
TGD(L)	0,004285ns	0,013740*	0,002633ns	-0,01264*
TGD(Q)	0,000226*	0,000394*	-0,002633*	0,00043*
UxGG(L)	-0,000109ns	-0,000239*	0,000004ns	0,00021ns
R ²	0,55	0,40	0,92	0,57

Coeficiente de regressão = CR; umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); densidade antes da fritura (DAF); densidade pós-fritura (DPF); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os resultados dos coeficientes de determinação das variáveis DAF apresentaram contribuição quadrática positiva no teor de TGD nos EGM, com valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,55$, indicando que o modelo foi preditivo, a 5% de probabilidade. Em contrapartida, as variáveis apresentadas EGA e TGD contribuíram com efeito linear positivo, quadrático negativo no teor de umidade e efeito quadrático negativo nos valores da TGD, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,92$, havendo, portanto, diferença significativa ($P < 0,05$). A Figura 27 permite verificar o efeito das variáveis estudadas na variável resposta DAF nos dois delineamentos. Portanto, os valores da DAF em forma de superfície de resposta (Figura 27A) diminuiram com ponto central (17,50%) de TGD e aumentaram com menor ponto axial de TGD (24,90%), ou seja, o ponto central influenciou a obtenção de extrudados menos densos.

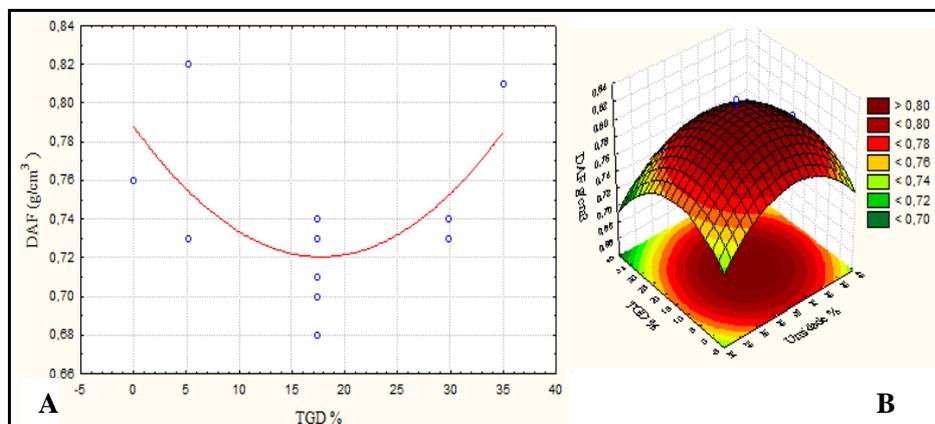


Figura 27 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DAF, dos *pellets* de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Nos EGA com adição de TGD, o comportamento dos valores da DAF em forma de superfície de resposta (Figura 27) apresentou maior densidade aparente antes da fritura ($0,80 \text{ g/cm}^3$), com ponto central de umidade (32%) e (12,50%) de TGD. Já extrudados com menores valores na densidade ($0,70 \text{ g/cm}^3$) localizam-se nas condições de ponto mínimo de água (27%) e ponto máximo de TGD (29,87%). Portanto, é importante salientar que pontos centrais de umidade e de TGD proporcionaram extrudados com densidade aparente alta. É provável que a densidade do grits de arroz e a da torta tenham influenciado a obtenção de extrudados mais densos. Portanto, observa-se que a TGD foi a variável que mais influenciou para a DAF. Alta presença de TGD nas formulações dos produtos tende a produzir *pellets* mais densos, com influência no volume total das células de ar dos extrudados, ou seja, maior presença de fibra nos produtos extrudados resulta em paredes celulares mais fracas, as quais não suportam pressão durante a expansão (JIN; HSIEH; HUFF, 1995).

Sacchetti (2004) trabalhou com extrudados não expandidos de farinha de castanha e farinha de arroz processados a 120°C e encontrou baixa densidade antes da fritura. É provável que o teor de lipídeo presente na castanha tenha influenciado a redução na densidade. A densidade de extrudados depende de uma série de fatores, como a densidade de seus componentes, a geometria, o tamanho, as propriedades de superfície e o método de medida (LEWIS, 1993).

Os resultados das estimativas dos coeficientes de regressão da DPF dos EGM e EGA com adição de TGD contribuíram para o modelo linear negativo, quadrático positivo para a umidade, efeito linear, quadrático positivo para a variável TGD e interação, com coeficiente $R^2 = 0,40$ (EGM). Analisando-se as interações entre as variáveis independentes pode-se observar que a umidade e o teor de TGD foram significativos, a 5% de probabilidade, contribuindo para a variável resposta. Em contrapartida, nos EGA, é notável o efeito linear positivo para a umidade, efeito linear negativo e quadrático positivo para a TGD com diferença significativa a ($P < 0,05$), obtendo-se coeficiente de regressão $R^2 = 0,57$. Isso demonstra que o modelo foi bem ajustado aos dados obtidos da variável resposta (DPF).

As Figuras 28A e 28B representam os valores dos dados significativos em forma de superfície de resposta. Na Figura 28^a apresentam-se os EGM com adição de TGD, com ponto máximo de umidade (37%) e ponto mínimo de TGD (5,13%), obtendo-se uma menor DPF. É provável que esta menor tendência da DPF tenha ocorrido devido ao fato de as amostras estarem mais úmidas e menos susceptíveis à expansão. Em contrapartida, a maior DPF (0,70 g/cm³) foi obtida com valores de umidade entre 24% a 39% e 0,01% a 39% de TGD. Nestas condições, observa-se que os extrudados foram influenciados pelo teor de torta de gergelim, mesmo com alta taxa de umidade. Portanto, a alta variação no teor de TGD influenciou significativamente a maior expansão dos EGM.

Segundo Alvim, Sgarbieri e Chang (2002), com alto teor de umidade o material é fundido, tornando-se mais elástico e formando uma matriz de

pequenas células e de tamanho uniforme, enquanto que, em baixo teor de umidade, o material extrudado tem células maiores e pouco uniformes, resultando em material pouco elástico. Isto está de acordo com o experimento dos *pellets*, os quais foram extrudados com alto teor de umidade e de TGD, os quais foram mais fundidos e mais elásticos, resultando numa alta DPF.

Aguilar-Palazuelo, Zazueta-Morales e Martinez-Bustos (2006) trabalharam com extrudados (*pellets*) à base de amido de batata, amido de milho, farelo de soja, à temperatura de 75 °C a 140 °C e umidade de 16% a 30%, e encontraram região de otimização numa faixa de 123-140 °C. Os extrudados obtidos neste trabalho obtiveram seu ponto ótimo numa faixa de umidade entre 24% a 39%, maior ponto axial de torta (35%) e temperatura de extrusão entre 60 °C a 100 °C.

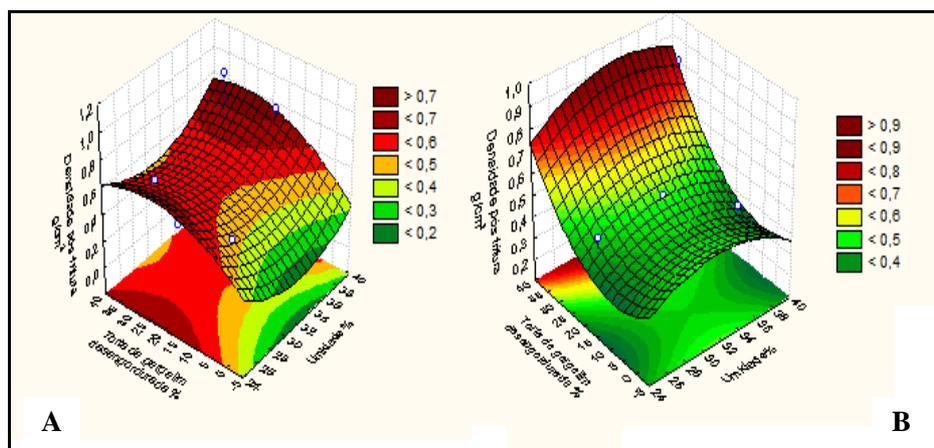


Figura 28 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da DPF, dos *pellets* de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Analisando-se a Figura 28B nos EGA com adição de TGD, observa-se que a maior DPF ($0,90 \text{ g/cm}^3$) foi obtida com valores de 24% a 39% de umidade e 35% de TGD (maior ponto axial). Já o menor valor da DPF ($0,40 \text{ g/cm}^3$) foi observado com valores de umidade variando de 24% a 39% e de TGD entre 0,01% a 30%. Portanto, pode-se afirmar que o melhor ponto para a expansão dos extrudados com grits de arroz foi o maior ponto axial de TGD.

Carvalho et al. (2010) trabalharam com farinha de pupunha em extrudados não expandidos e encontraram baixo índice de expansão no produto final. Foi possível observar, nos extrudados fritos, que quanto maior o teor de farinha de pupunha utilizado, menor foi a expansão do produto final. Alto conteúdo de fibra em produtos extrudados provoca baixos níveis de expansão, em decorrência do fato de os carboidratos apresentarem alto peso molecular. Além disso, o teor de carboidratos em forma de amido, na formulação dos extrudados de terceira geração, variou de 75% a 85% (ASCHERI et al., 1995).

4.23 Índice de expansão volumétrica

Tabela 30 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável índice de expansão volumétrica (IEV) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada (TGD).

CR	EGM	EGA
	IEV	IEV
Intercepto	-5,29292*	2,557977ns
U(L)	0,41270*	0,140233ns
U(Q)	-0,00523*	-0,004077ns
TGD(L)	-0,01775ns	-0,202557*
TGD(Q)	0,00212*	0,001588*
UxGG(L)	-0,00255*	0,003378*
R ²	0,61	0,78

Coeficiente de regressão = CR; umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); índice de expansão volumétrica (IEV); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

As estimativas e os coeficientes de determinação do IEV dos EGM e EGA com adição de TGD estão apresentados na Tabela 30. Nota-se que tanto nas regressões lineares, como nas quadráticas e interações, os valores apresentaram efeitos significativos ($P < 0,05$), indicando que as variáveis independentes escolhidas contribuíram para a variável resposta (IEV), com coeficientes de determinação 0,61 e 0,78. Isso mostra que a metodologia utilizada foi adequada para a variável resposta.

Na Figura 29 estão apresentados os valores do IEV em forma de superfície de resposta. Nos EGM com adição de TGD (Figura 29A) houve aumento do IEV com ponto máximo de umidade, 37% e ponto mínimo de TGD, 5,13%, enquanto com ponto máximo de umidade, 37% e de TGD, 29,87%, o

IEV diminuiu. É importante salientar que a maior expansão dos extrudados processados com grãos de milho foi obtida com baixo teor de TGD. Alvarez-Martinez, Kondury e Arper (1988) verificaram, em extrudados à base de milho, que a umidade e a temperatura foram as variáveis que mais influenciaram os valores do IEV. Portanto, esta afirmativa do IEV está de acordo com os resultados dos EGM e TGD, os quais foram obtidos com valores máximos de umidade.

Lue, Hsieh e Huff (1991) estudaram o efeito da fibra alimentar em extrudado de milho e beterraba e identificaram que a fibra interferiu na expansão das bolhas, reduzindo a capacidade de extensão das paredes das células, causando uma prematura ruptura no ponto crítico de sua espessura. No presente experimento, o teor de fibra da torta de gergelim interferiu na expansão dos extrudados, pois os mesmos apresentaram menor índice, com alto teor de umidade e de TGD.

Em contrapartida, na Figura 29B, ilustrada em forma de superfície de resposta, observa-se que o IEV aumentou com ponto mínimo de umidade (24% a 27%) e de TGD (0,1% a 10%), enquanto nos *pellets* processados com maior ponto axial de umidade (24 a 39,07%) e de TGD (20 a 34,99%), o IEV tendeu a diminuir. É possível perceber que, neste delineamento, os pontos axiais de umidade e de torta influenciaram a redução da expansão.

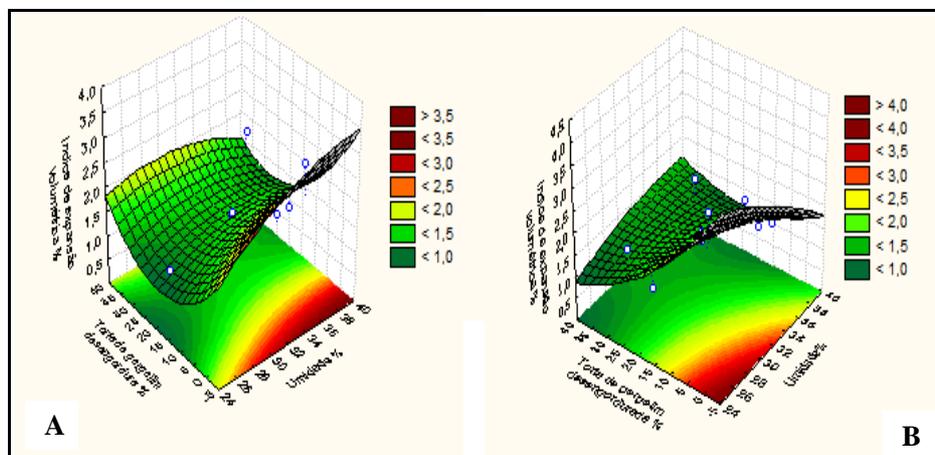


Figura 29 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do IEV, dos *pellets* de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

O IEV em extrudados de arroz é, geralmente, alto, comparado com outros cereais, devido ao seu alto teor de amido (BHATTACHRYA; CHOUDHURY, 1994). Isto está de acordo com o IEV obtido nos extrudados com grits de arroz, pois, mesmo com baixo teor de TGD, os extrudados obtiveram boa expansão.

Conforme Lusas e Riaz (1994), o índice de expansão volumétrica (IEV) é um teste de caracterização física importante para os produtos extrudados. Por meio deste teste observa-se e prediz-se quão drástico ou brando foi o processo de extrusão.

Suknark, Phillips e Chinnan (1997) trabalharam com extrudados de farinha de amendoim, com a umidade variando de 24,50% a 27,50%, e à temperatura de 156 °C, encontrando elevado teor de IEV e avaliando que esta elevação estava relacionada com alto teor de amilose (23% a 48%).

4.24 Força de compressão (FC) e força de ruptura (FR)

A forma e o tamanho dos poros distribuídos de forma não uniforme podem representar, em uma mesma amostra, variações nos valores de firmeza e influenciaram outros parâmetros de textura (ESTELLER; AMARAL; LANNES, 2004; ESTELLER et al., 2004).

A propriedade estrutural dos extrudados depende da distribuição, do tamanho e da organização das células. Testes de punctura são feitos para determinar fisicamente a textura de produtos alimentícios, quando simulados ao impacto dos dentes, durante a mastigação (BOUVIER; BONNEVILLE; GOULLIEUX, 1997).

Tabela 31 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis força de compressão e força de ruptura, exercida pelo texturômetro dos extrudados após a fritura com grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de torta de gergelim desengordurada.

Coeficiente de regressão	EGM		EGA	
	FC/ N	FR/ N	FC/ N	FR/ N
Intercepto	-25,3584ns	-169,407ns	1,855665ns	0,300620ns
U(L)	2,0314ns	14,973ns	-0,068880ns	-0,019617ns
U(Q)	-0,0334ns	-0,253ns	0,000630ns	0,000385ns
TGD(L)	-0,5198*	-4,198*	-0,039782*	-0,005992ns
TGD (Q)	0,0088*	0,057*	-0,000045ns	0,000041ns
UxTG(L)	0,0051ns	0,063ns	0,001108ns	0,000259ns
R ²	0,63	0,64	0,70	0,47

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); força de compressão (FC); força resultante (FR); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os valores das estimativas e dos coeficientes de determinação da força de compressão (FC) dos extrudados de grits de milho e grits de arroz com adição de TGD são apresentados na Tabela 26, com valores de R^2 (0,63 e 0,70), expressando valores de 63% e 70% da variação total da variável resposta em relação aos modelos adotados. Percebe-se, nos EGM, que os valores da TGD apresentaram efeito linear negativo e quadrático positivo com relação à variável resposta (FC) com $R^2 = 0,63$, não sendo possível representar graficamente os resultados. Em contrapartida, nos EGA, houve efeito linear negativo para os valores de TGD, com significância ($P \leq 0,05$), com 70% da variação dos valores da FC, mostrando boa variação para a variável resposta, a qual está representada na Figura 30 e ilustrando que houve uma redução significativa na FC com o aumento da TGD. Houve um decréscimo médio de 0,32 N (FC) para cada unidade (1) em cada tratamento, enquanto, com ponto mínimo de TGD (0,01%), ocorreu maior valor na FC (0,34 N). Portanto, observa-se que o teor de fibra presente na mistura influenciou como agente redutor na crocância dos EGA. Contudo, com ponto central de torta (17,50%), foi possível obter 0,20 N, ou seja, menor FC.

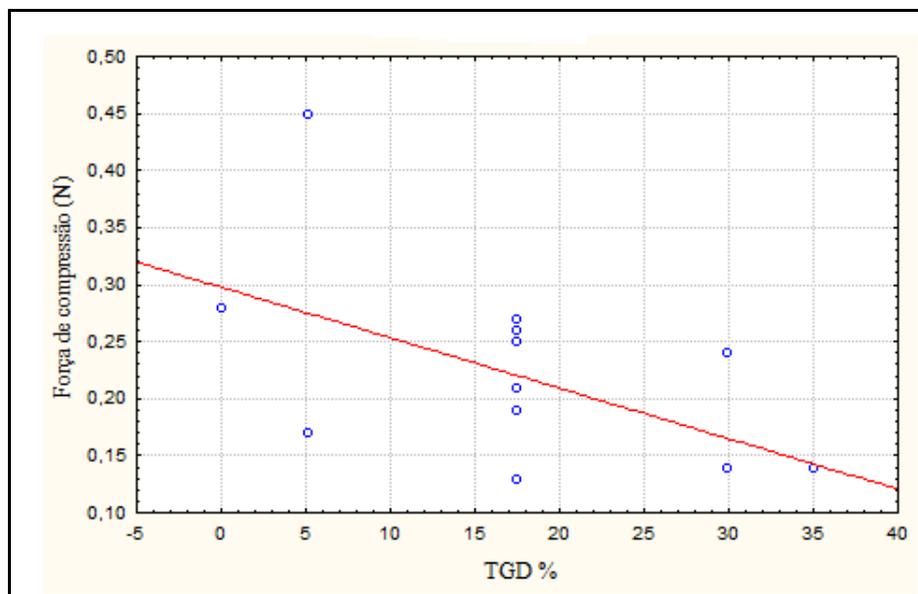


Figura 30 Efeito da variável quantitativa do teor de TGD (%) em relação à força de compressão (FC) dos *pellets* com *grits* de arroz e adição de TGD

Os coeficientes de determinação $R^2 = 0,64$ e $0,47$, da força de ruptura (FR) dos EGM e EGA, com adição de TGD, indicam que as variáveis independentes escolhidas são boas preditoras para o fenômeno estudado e que a variação em Newtons da força resultante foi significativa ($P \leq 0,05$), com $R^2 = 0,64$. Portanto, é possível dizer que houve diferença significativa para a variável TGD, com efeito linear negativo e quadrático positivo. Em contrapartida, nos EGA, nota-se que os modelos de regressões lineares, quadráticos e interações não apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$).

Na Figura 31, a força de ruptura (FR) dos EGM aumenta com menor ponto axial de TGD (0,01%) e é reduzida com ponto central de TGD (17,50%). Portanto, o ponto central indica o melhor valor para a redução da força de ruptura na crocância dos *pellets* com *grits* de milho.

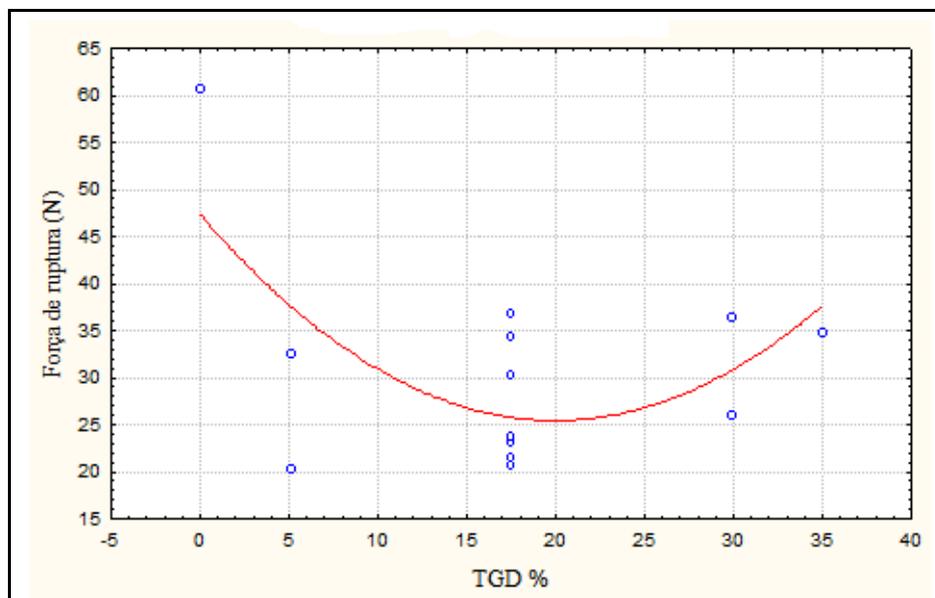


Figura 31 Efeito da variável quantitativa do teor de TGD (%) em relação à força de ruptura (FR) dos *pellets* com *grits* de milho e adição de TGD

Esta redução na FC pode ser atribuída à adição do considerável teor de óleo (~50%) e fibras presentes na torta. É provável que a composição química da TGD tenha influenciado a variável força de ruptura (FR). Observa-se que quanto menor foi a FR, maior foi o teor de TGD. No entanto, com FR (0,45N), houve incremento na redução da TGD, quando cai acentuadamente para 5%, enquanto a FR (0,25 N) é reduzida com 17,50% de TGD, uma vez que, com baixo teor de fibra nos extrudados, houve influência redutora na crocância dos *pellets*.

4.25 Força específica de ruptura (FSR) e trabalho de crocância (TC)

Tabela 32 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis: força específica de ruptura (FSR) e trabalho de crocância, exercida pelo texturômetro dos extrudados, após a fritura com grits de milho (EGM), grits de arroz (EGA) e adição de torta de gergelim desengordurada.

Coeficiente de regressão	EGM		EGA	
	FSR/ N	TC/ N.mm ⁻¹	FSR/ N	TC/ N.mm ⁻¹
Intercepto	0,220834ns	-0,194453ns	0,300620ns	-104,320ns
UL)	-0,013912 ns	0,019886ns	-0,019617ns	8,117ns
U(Q)	0,000244ns	-0,000332ns	0,000385ns	-0,146ns
TGD(L)	0,004187ns	0,006071ns	0,005992ns	-1,719ns
TGD (Q)	-0,000032ns	0,000095ns	0,000041ns	-0,013ns
UxTG(L)	-0,000095ns	0,000068 ns	-0,000259ns	0,072ns
R ²	0,55	0,57	0,47	0,15

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); força específica de ruptura (FSR); trabalho de crocância (TC); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os coeficientes de determinação da força específica de ruptura (FSR) e do trabalho de crocância estão demonstrados na Tabela 32. Nota-se que, tanto nos efeitos lineares, quadráticos e interações do teor de umidade e de TGD, nos EGM e EGA, os valores obtidos da força específica de ruptura (FSR) e do trabalho de crocância (TC) não obtiveram efeito significativo ($P \leq 0,05$). Isso indica que as variáveis independentes dos percentuais de umidade e de TGD não contribuíram para as variáveis respostas. Além disso, os coeficientes de determinação apresentaram valores abaixo de 90%, $R^2=0,55$ e $R^2= 0,47$, para força específica de ruptura e $R^2= 0,57$ e $R^2= 0,15$, para o trabalho de crocância.

4.26 Cor

A luminosidade define a claridade da cor, em valores de 0 a 100. Para o zero (0) é considerada cor totalmente preta e para o valor 100 é considerada a cor totalmente branca. Em produtos extrudados, o escurecimento pode comprometer a intensidade da cor (FOLEY et al., 1990).

Tabela 33 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis luminosidade (L^*) dos extrudados após a fritura de grits de milho (EGM), grits de arroz (EGA) e adição de torta de gergelim desengordurada.

Coeficiente de regressão	EGM	EGA
	L *	L *
Intercepto	150,9213*	125,2465*
U(L)	-5,0396ns	-3,2125*
U(Q)	0,0662ns	0,0471*
TGD(L)	-2,8938*	-1,8536*
TGD(Q)	-0,0237ns	0,0399*
UxTG(L)	0,0881*	-0,0111ns
R ²	0,88	0,95

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); luminosidade (L^*); * significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Conforme os dados apresentados, os coeficientes de regressão $R^2 = 0,88$ e $0,95$ dos EGM e EGA, respectivamente, com adição de TGD, indicam que houve contribuição linear negativa no teor de TGD e interação linear positiva com os valores de umidade e de TGD, mostrando que as variáveis independentes contribuíram para os valores da luminosidade com efeito significativo ($P \leq 0,05$) nos EGM. Em contrapartida, os efeitos linear negativo, quadrático positivo da

umidade, efeito linear negativo e quadrático positivo nos valores de TGD, contribuíram para o modelo com diferença significativa ($P \leq 0,05$) nos EGA. Além disso, o coeficiente de determinação (0,95) prediz que este modelo foi bem aplicado aos dados experimentais da variável resposta.

Na Figura 32 estão representados os efeitos significativos da variável resposta para EGM, excluindo-se os efeitos não significativos, além de demonstrar o comportamento da luminosidade dos EGM com adição de TGD por meio de superfície de resposta. Portanto, na Figura 32A, os maiores valores de L^* foram obtidos com pontos máximos de umidade (24% a 39%) e pontos mínimos (0,01% a 20%) de TGD, enquanto os menores valores foram obtidos com valores mínimos de umidade (24% a 27%) e máximos de TGD (30% a 40%). Portanto, pode-se dizer que, à medida que o teor de umidade aumentou e o teor de TGD diminuiu, houve maior influência do brilho ou aumento da luminosidade nas amostras. Segundo Kramer e Twigg (1962), a cor é uma característica da luz, medida em termos de intensidade e comprimento de onda. Isso surge da presença da luz em intensidades maiores em alguns comprimentos de onda do que em outros. A formação de cor durante o processo de extrusão proporciona importante informação a respeito do grau do tratamento térmico e está diretamente relacionada com a composição da formulação (LINKO; COLONNA; MERCIER, 1981).

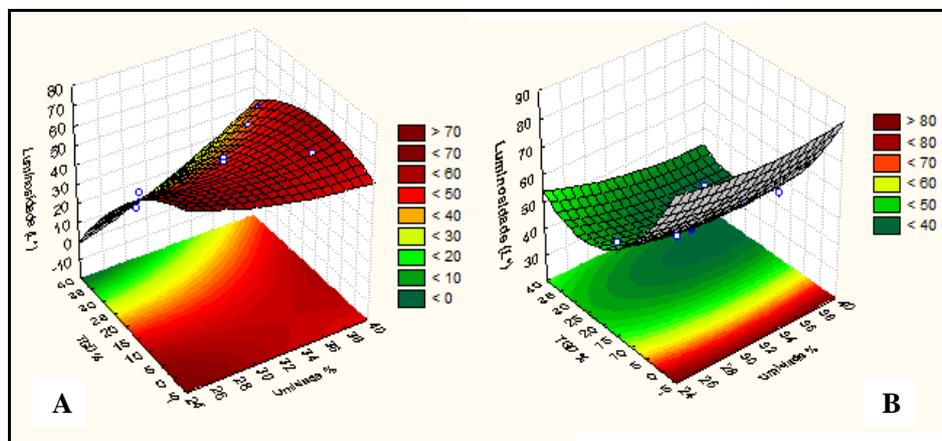


Figura 32 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da luminosidade (L^*) dos *pellets* de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Borba, Sarmento e Leonel (2005) avaliaram o efeito dos parâmetros operacionais na extrusão de farinha de batata-doce e observaram que o aumento do componente L^* foi diretamente proporcional ao aumento da umidade (20% a 21%), temperatura de 120 °C e rotação do parafuso 210 rpm e valores de L^* variando de 81 a 88. Neste trabalho, a maior luminosidade dos extrudados de grits de milho e TGD foi 70, obtida com temperaturas variando de 60 °C a 100 °C, rotação do parafuso de 100 rpm, umidade variando de 24% a 39% e TGD variando de 0,01% a 20%. Estes dados estão de acordo com o esperado, pois alta luminosidade indica baixo teor de torta nas formulações dos extrudados.

Contudo, na Figura 32 B, observa-se a luminosidade (L^*) dos extrudados de grits de arroz variando de 40 a 80, tendo sido obtido maior L^* com umidade variando de 24% a 39% e teor de TGD de 0,01% a 5%. Entretanto, com umidade entre 24% a 39% e 17,50% a 40% de TGD, observou-se menor brilho. Portanto, os baixos valores de torta adicionados às formulações contribuíram para maior brilho. Cores mais claras são obtidas por meio do

aumento do brilho ou da luminosidade e de cores mais escuras, pela diminuição dos mesmos e as intermediárias, pela diminuição ou a saturação das cores (SOUTO, 2000).

No processo de extrusão, a reação de Maillard é uma das características mais importantes e que causam perda na cor dos extrudados. A perda da cor pode ser uma indicação da perda de lisina envolvida com a temperatura e a umidade (BJÖRCK; ASP, 1983). Nos EGA, o processo de extrusão influenciou a redução no teor do aminoácido (lisina) presente na mistura de grits de arroz e TGD, resultando em menores valores de luminosidade (L^*).

4.26.1 Cromaticidade a^*

Tabela 34 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para a variável cromaticidade a^* dos extrudados após a fritura de *grits* de milho (EGM), *grits* de arroz (EGA) e adição de torta de gergelim desengordurada.

Coeficiente de regressão	EGM	EGA
	Croma a^*	Croma a^*
Intercepto	2,268538ns	10,50290ns
U(L)	0,785738ns	-0,50200ns
U(Q)	-0,021996ns	0,50094ns
TGD(L)	-0,422592*	0,50037*
TGD(Q)	-0,006529*	-0,01111*
UxTG(L)	0,023396*	0,00082ns
R^2	0,79	0,98

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); cromaticidade a^* ; *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os resultados da cromaticidade a^* para os EGM e EGA estão apresentados na Tabela 34. Nota-se que, tanto nas regressões lineares quanto nas quadráticas e interações, os valores foram significativos ($P < 0,05$) para a variável TGD, indicando que a mesma contribuiu para os valores do cromat a^* dos EGM, obtendo-se efeito linear positivo e quadrático negativo para a variável TGD. O modelo apresentou-se ajustado de modo satisfatório aos dados da cromaticidade a^* , com coeficiente de determinação $R^2 = 0,79$, mostrando que o ponto central foi escolhido adequadamente. Em contrapartida, nos EGA, houve efeito linear e quadrático para o teor de TGD. O modelo apresentou-se ajustado de modo satisfatório aos dados da cromaticidade a^* , com coeficiente de determinação igual a 0,98, mostrando que o ponto central foi escolhido adequadamente, podendo os modelos serem representados graficamente. As Figuras 33A e 33B permitem verificar o efeito das variáveis estudadas na variável resposta cromat a^* , eliminando os efeitos das variáveis não significativas.

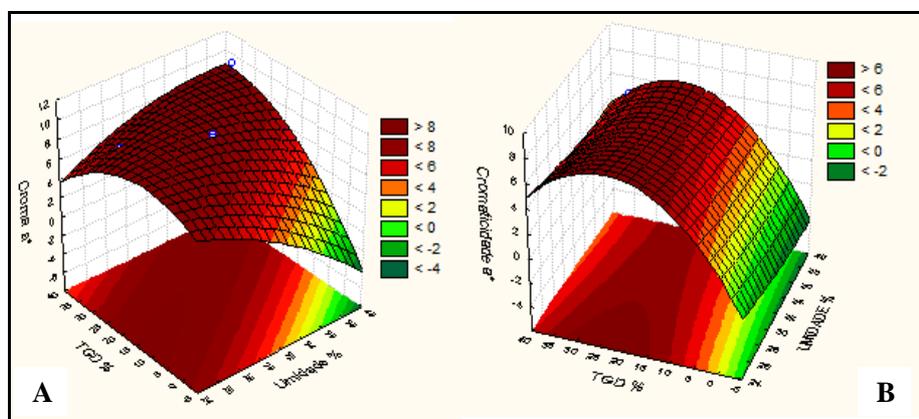


Figura 33 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da cromaticidade a^* dos *pellets* de grãos de milho (A) e grãos de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Notam-se os efeitos significativos da maior cromaticidade a^* (Figura 33 A) apresentados nos EGM, com valores de umidade de 24% a 39% e 0,01% a 40% de TGD. Enquanto o menor valor do croma a^* foi obtido com valores de 38% a 40% de umidade e 0,01% a 5% de TGD, pode-se dizer que o maior valor do croma a^* foi obtido com os maiores pontos axiais de umidade e de TGD, enquanto o menor croma a^* foi obtido com valores máximos de umidade e mínimos de TGD. Portanto, o parâmetro a^* apresentou maior influência na intensidade de vermelho com o acréscimo de umidade e de TGD. Considerando esse componente de cor variando de verde (-60) ao vermelho (+60), pode-se dizer que ocorreu pequena variação para o vermelho, entre os extrudados de grits de milho e TGD.

Segundo Badrie e Mellowes (1991), condições severas durante o processo de extrusão resultam em produtos mais escuros, com valores de luminosidade menores e aumentos nos valores das coordenadas a^* e b^* . De acordo com Sebjo (1996), a estabilidade da cor é uma característica de qualidade para alimentos extrudados que são normalmente consumidos diretamente, sem um posterior tratamento térmico. Manoharkumar et al. (1978) descreveram a importância das condições operacionais de extrusão na perda da cor do grits de milho que ocorrem segundo as reações de coloração e degradação não enzimática do pigmento das farinhas. Menegassi et al. (2007) trabalharam com extrudados de mandioca-salsa e encontraram croma a^* variando de 4 a 10, valores similares ao encontrado neste trabalho, que foi de -4 a 8.

Os dados do croma a^* mostrados na Figura 33 B, dos EGA, aumentou com elevado teor de umidade, 24% a 39% e 0,01% a 40% de TGD, enquanto que, com alto valor de umidade, de 24% a 39% e de 0,01% a 2% de TGD, ocorreu redução nos valores da variável. Portanto, é possível avaliar que os altos percentuais de TGD adicionados nas formulações dos extrudados de grits de arroz influenciaram o maior croma a^* (+60), com tendência da cor vermelha.

4.26.2 Cromaticidade b* e diferença de cor

Tabela 35 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis cromaticidade b* e diferença de cor (ΔE) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de TGD após a fritura.

Coeficientes de regressão	EGM		EGA	
	b*	ΔE	b*	ΔE
Intercepto	205,7106*	212,4413*	126,8166*	181,0866*
U(L)	-10,2480*	-9,1292*	-6,2553*	-6,0576*
U(Q)	0,1642*	0,1597*	0,0882*	0,0982*
TGD(L)	-1,3362ns	0,1361ns	-0,3872ns	-0,9728*
TGD(Q)	0,0279*	0,0219*	-0,0047ns	0,0241*
UxTGD(L)	-0,0148ns	-0,0443*	0,0063ns	-0,0311*
R ²	0,95	0,85	0,96	0,99

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); cromaticidade b*; diferença de cor (ΔE); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Observando-se os coeficientes de determinação (0,95 e 0,96) apresentados na Tabela 35, da cromaticidade b* dos EGM e EGA, fica explicado que mais de 90% da variação total da variável resposta teve efeito significativo nos dois delineamentos. Os níveis de significância para os coeficientes de determinação indicaram que as variáveis independentes escolhidas são boas preditoras para os fenômenos estudados. Com relação às variáveis dos EGM, houve contribuição linear negativa, quadrática positiva para a umidade e quadrática positiva no teor de TGD, com relação à variável resposta cor b* ($P \leq 0,05$), mostrando que as variáveis independentes escolhidas contribuíram para os valores analisados. Em contrapartida (EGA), observou-se que houve contribuição somente para a variável umidade, com efeito linear negativo e

quadrático positivo. Dessa forma, pode-se dizer que o teor de umidade influenciou bastante a cromaticidade b^* nos EGA e a adição de TGD, a 5% de probabilidade.

As Figuras 34A e 34B contribuem para a ilustração dos resultados da cromaticidade b^* , em forma de superfície de resposta nos extrudados de grits de milho e grits de arroz com adição de TGD. Portanto, é possível observar, na Figura 34A, que a alta concentração de água (24% a 39%) e a baixa concentração de TGD (0,01% a 4%) influenciaram para os maiores valores da cromaticidade b^* (60), enquanto alto valor de umidade (24% a 39%) de (17,50% a 40%) de TGD resultou em baixo (20) valor da variável. Em contrapartida (Figura 34 B), a cromaticidade b^* foi elevada, com valores médios de umidade de 24% a 30% e médios de TGD 0,01% a 25%, enquanto a redução da coordenada croma b^* de valor 5 foi observada com altos valores de umidade, de 24% a 39% e 20% a 40% de TGD. Segundo Badrie e Mellows (1991), a elevação da temperatura aumenta a intensidade da cor em produtos extrudados, altos níveis de umidade resultam em produtos mais claros, devido ao fato de o aumento da umidade reduzir o tempo de residência dentro do canhão, proporcionando menor ocorrência de caramelização e reação de Maillard. Neste experimento, o alto teor umidade influenciou tanto o alto valor do croma a^* como o valor do croma b^* .

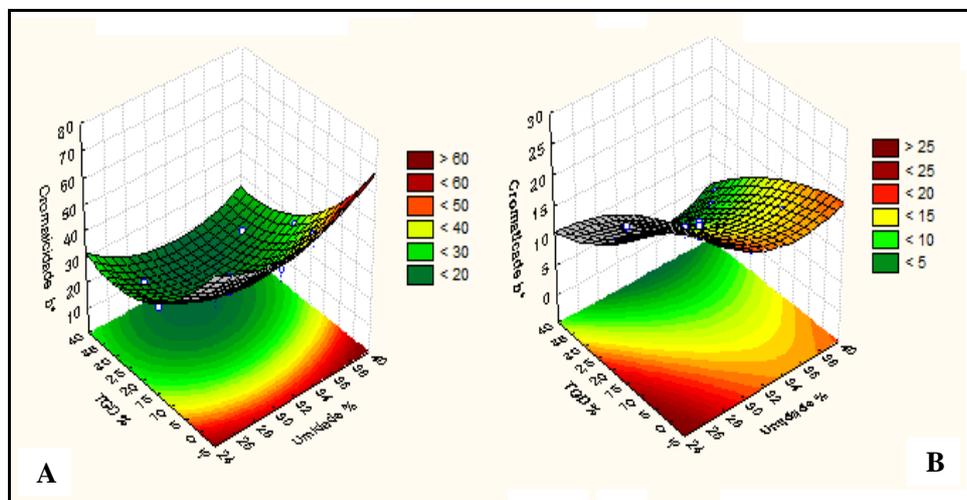


Figura 34 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da cromaticidade b^* dos pellets de grits de milho (A) e grits de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Ainsworth et al. (2007) estudaram o efeito da rotação da rosca e da adição do resíduo fibroso da fabricação de cerveja nas características físicas e nutricionais de snacks sabor cebola, produzidos a partir de misturas de farinha de trigo, amido de milho, farinha de aveia e grão-de-bico e observaram L^* variando de 51,7 a 65,3, cromacidade a^* de -6,5 a -11,8 e croma b^* variando de 12,8 a 20,8. Portanto, pode-se dizer que os valores de L^* foram mais baixos que os valores do L^* encontrados neste experimento, de 0 a 70; valores do croma a^* similares ao deste trabalho, -4 a 8 e croma b^* variando de 20 a 60, considerados inferiores aos valores do croma b^* .

Os resultados apresentados dos coeficientes de determinação expressos em valores nos EGM, extrudados com grits de arroz e adição de TGD, explicando que 85% a 99% da variação total da variável resposta dos EGM e EGA, obtiveram efeito significativo. Nas variáveis dos EGM, pode-se perceber que houve contribuição linear negativa e quadrática positiva no teor de umidade,

efeito quadrático positivo no percentual de TGD e interação linear nos valores da diferença de cor. De acordo com o efeito negativo da variável linear teor de umidade, pode-se dizer que houve uma tendência de redução dos valores da diferença de cor dos *pellets* com esta variável.

Nos EGA houve efeito linear negativo, quadrático positivo, efeito linear negativo, quadrático positivo na TGD e interação. Analisando-se as interações entre as variáveis independentes, pode-se observar que a umidade e a TGD tiveram efeito linear negativo com $R^2 = 0,99$, a 5% de probabilidade, contribuindo para a variável resposta. Analisando-se os resultados em forma de superfície de resposta na Figura 36, pode-se verificar que a maior diferença de cor obtida nos EGM foi 110, com 35% a 40% de umidade e 0,01% a 5% de TGD. Já a menor diferença de cor obtida entre os extrudados foi 70, com 24% a 39% de umidade e 5% a 40% de TGD. Alguns autores relatam que a umidade e a temperatura exercem influência na diferença de cor (Teba, 2009), fato observado na variável umidade, no presente estudo.

Borba, Sarmiento e Leonel (2005) verificaram que a diferença de cor aumentou com a redução da umidade, independente da variação da temperatura de extrusão. O baixo conteúdo de umidade durante o processamento da farinha de batata-doce favoreceu a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático. Manoharkumar et al. (1978) descreveram a importância das condições operacionais de extrusão na perda da cor de grits de milho. Muitas são as reações que ocorrem durante esse processo da extrusão e as mais comuns são reações de coloração e degradação não enzimática do pigmento das farinhas.

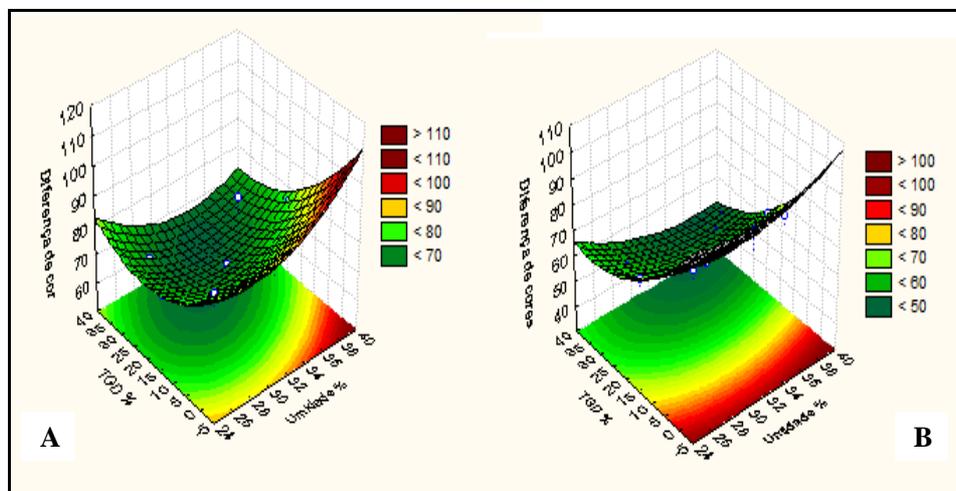


Figura 35 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da diferença de cor dos *pellets* de grãos de milho (A) e grãos de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Nota-se, na Figura 35B, que a diferença de cor nos EGA e a adição de TGD foi elevada, com 24% a 39% de umidade e 0,01% a 5% de TGD, enquanto a redução da cor foi atingida com maior valor de umidade (24% a 39%) e 17,50% a 40% de TGD. Como pode ser avaliado, a alta quantidade de água durante o processo de extrusão e o baixo teor de torta nas formulações influenciaram a maior diferença de cor entre os produtos.

Sebio (1996), ao extrusar farinha de inhame, observou que a diferença de cor cresceu à medida que a temperatura do processo se elevou, independente da rotação da rosca. Quando a temperatura e a rotação estavam em seus menores níveis, ocorreram os menores valores de diferença de cor, pois, segundo o autor, esses níveis não favorecem a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático. E, conforme Souza et al. (2012), que trabalharam com extrudado de bagaço de fécula de mandioca e encontraram menor ΔE com temperatura de 106,76 °C e baixo níveis de umidade, provavelmente, estes níveis de temperatura

e umidade não favoreceram a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático. Com aumento de umidade e mesma temperatura (106,76 °C), o valor de ΔE aumentou, provavelmente, porque se intensificou a velocidade de formação de polímeros com estrutura variável, como os caramelos. É provável que o mesmo efeito tenha ocorrido na extrusão dos extrudados com alto teor de umidade e baixo teor de TGD.

4.27 Viscosidade inicial de pasta e viscosidade máxima

Os parâmetros de viscosidade de pasta possibilitam a determinação e o estudo do grau de cozimento dos produtos extrudados, bem como permitem avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo. Assim, as propriedades de pasta constituem propriedades funcionais de grande importância na elaboração de diversos produtos, incluindo extrudados expandidos e não expandidos (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009).

Tabela 36 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis viscosidade inicial de pasta (VIP) e viscosidade máxima (VMAX) dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) e adição de TGD após a fritura.

Coeficientes de regressão	EGM		EGA	
	VIP	VMAX	VIP	VMAX
Intercepto	-306,323*	-1,12020ns	312,1179*	1287,204*
U(L)	31,631*	7,57933ns	-9,9491*	-82,485*
U(Q)	-0,507*	-0,05132ns	0,0930*	1,554*
TGD (L)	-9,320*	1,12062ns	-6,0810*	10,277ns
TGD(Q)	0,231*	0,08180ns	0,0074ns	0,066ns
UxTGD (L)	-0,019ns	-0,24922ns	0,1581*	-0,640*
R ²	0,63	0,74	0,77	0,93

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); viscosidade inicial de pasta (VIP); viscosidade máxima (VMAX); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os resultados das estimativas e dos coeficientes de regressão estão expressos na Tabela 36, com valores de 0,63 e 0,77, explicando que 63% dos EGM e 77% dos EGA da variação total da variável resposta VIP foram estatisticamente significativos ($P < 0,05$). Os dados obtidos indicaram efeito linear positivo, quadrático negativo no teor de umidade, efeito linear negativo e quadrático positivo no teor de TGD. Em contrapartida, nos EGA, pode-se observar efeito linear negativo, quadrático positivo no teor de umidade, seguido do efeito linear negativo no teor de TGD e interação linear positiva entre a umidade e a TGD ($P < 0,05$).

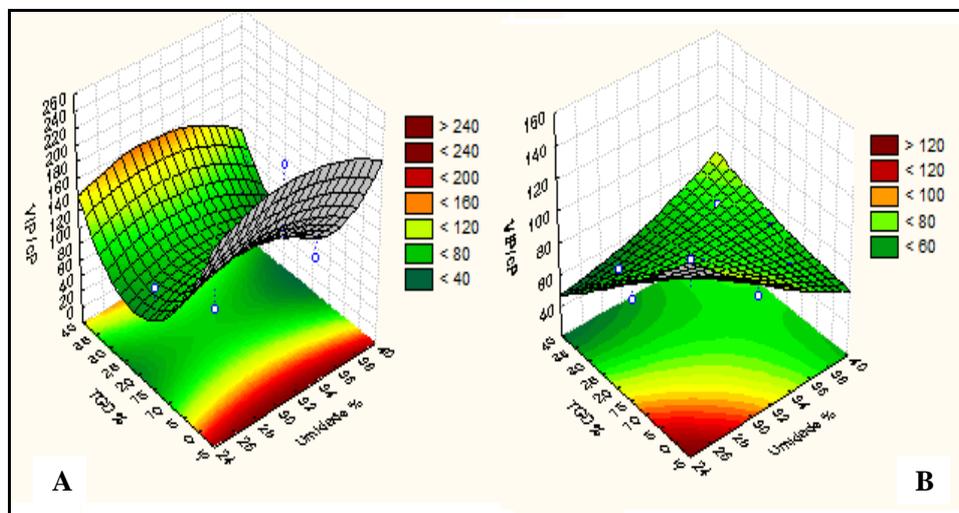


Figura 36 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da viscosidade inicial de pasta, a 25 °C, dos *pellets* de grãos de milho (A) e grãos de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Pela observação da Figura 36A (EGM) e 36B (EGA), é possível verificar o efeito das variáveis estudadas na variável resposta viscosidade inicial de pasta a 25° C, eliminando-se no gráfico os efeitos das variáveis não significativas. Observa-se (Figura 36A), nos EGM, que a VIP aumentou com alta concentração de umidade de 24% a 39% e baixa concentração de TGD de 0,01% a 3%, enquanto a redução da mesma foi obtida com valores máximos de água de 24% a 39% e valores máximos de TGD de 10% a 35%.

Avaliando-se as características da viscosidade máxima dos EGM, apesar do coeficiente de determinação de 0,74%, o efeito da concentração da umidade e da torta de gergelim desengordurada não foi estatisticamente significativo ($P > 0,05$). Porém, nos resultados dos EGA com coeficiente de determinação explicando mais de 93% da variação total da variável com efeito

linear negativo, quadrático positivo no teor de umidade, seguido da interação negativa no teor de umidade e de TGD com diferença significativa ($P \leq 0,05$).

Na Figura 36B nota-se que a viscosidade inicial de pasta foi reduzida para 60 cP, quando os extrudados apresentaram formulações com 24% a 39% de umidade e 24% a 39% de TGD, enquanto nos extrudados elaborados com 24% a 31% de umidade e 0% a 14% de TGD, a viscosidade inicial tende a se elevar para 120 cP. É válido ressaltar que valores muito baixos de viscosidade inicial de pasta ou a frio, em produtos extrudados, podem ser decorrentes do conteúdo proteico e da presença de fibras nas matérias-primas (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009), assim como apresenta a TGD utilizada no presente estudo. Ascheri et al. (2006), estudando o efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta das farinhas mistas de arroz e bagaço de jabuticaba, observaram que o decréscimo da viscosidade inicial de pasta a 25 °C ocorreu com o aumento na proporção da farinha do bagaço de jabuticaba, atribuindo este fenômeno à menor proporção de material amiláceo na mistura, mencionando, ainda, que as fibras incluídas não fornecem suficiente material viscoso, fazendo com que a gelatinização do amido diminua. Os resultados estão de acordo com o presente experimento, pois os extrudados formulados com maior proporção de TGD obtiveram decréscimo da viscosidade inicial de pasta a 25 °C.

Avaliando-se as características da viscosidade máxima dos EGM, o coeficiente de determinação (0,74) mostra que não foi estatisticamente significativo ($P < 0,05$). Porém, os resultados dos EGA com coeficiente de determinação (0,93) explicam mais de 93% da variação total da variável com efeito linear negativo, quadrático positivo no teor de umidade, seguido da interação negativa no teor de umidade e de TGD com diferença significativa ($P < 0,05$). Na Figura 37 de superfície de resposta estão ilustrados os efeitos significativos, eliminando-se os dados não significativos. Portanto, a máxima viscosidade a 95 °C foi obtida com valores de 32% a 39% de umidade e 0,01% a

10% de TGD. Em contrapartida, a menor viscosidade máxima foi obtida com valores entre 24% a 39% umidade e 17,50% a 35% de TGD.

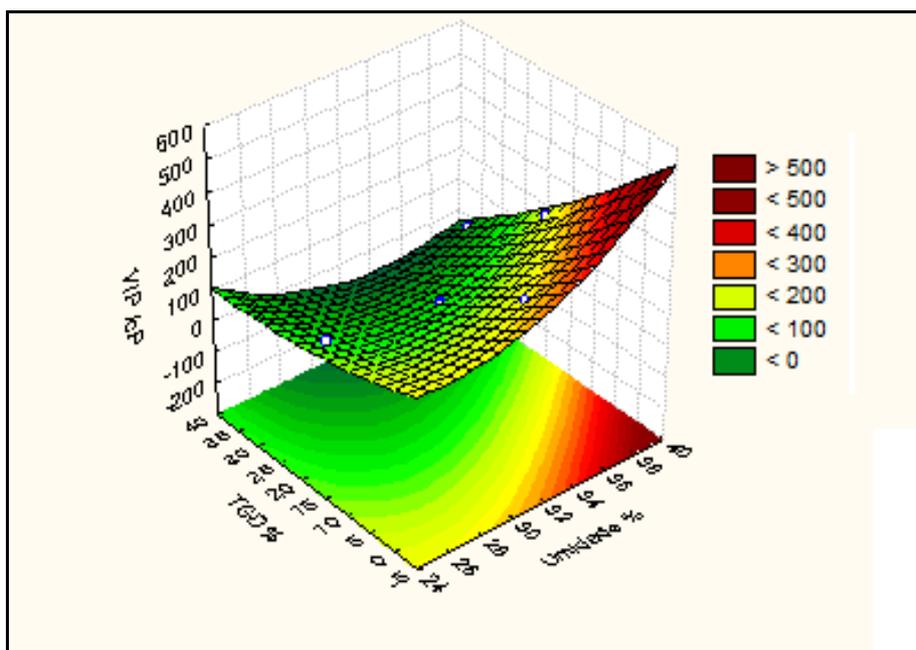


Figura 37 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento da viscosidade máxima dos *pellets* de grãos de milho (A) e grãos de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

A redução da viscosidade máxima é obtida pela quebra e a solubilização dos grânulos de amido (THOMAS; ATWELL, 1999). No processo de extrusão, dependendo das condições do processo, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma apresenta ausência de pico e valores baixos de viscosidade. Entretanto, se os tratamentos não forem muito severos, uma determinada porcentagem de grânulos de amido pode ter conservado parte da estrutura amilácea. Neste trabalho, as condições observadas dos valores da viscosidade máxima dos extrudados de grits de arroz com adição de TGD foram relativamente altas, pois há maior número de grânulos de amido em condição de intumescimento (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002).

4.28 Viscosidade de quebra (VQ), ou *breackdown* e *setback*, ou tendência à retrogradação

Tabela 37 Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivas significâncias para as variáveis viscosidade de quebra (VQ) ou *breackdown* e *setback* dos extrudados de grits de milho (EGM) e grits de arroz (EGA) com adição de TGD, após a fritura.

Coeficientes de regressão	EGM		EGA	
	VQ	SETBACK	VQ	SETBACK
Intercepto	1575,593*	-75,6056*	677,9237*	1857,145*
U(L)	-114,224*	29,7486*	-41,8208*	-92,916*
U(Q)	1,975*	-0,5537*	0,7179*	1,413*
TGD (L)	17,661*	-12,3938*	2,6374ns	-15,228*
TGD(Q)	-0,033ns	0,1303*	2,6374ns	0,090*
UxTGD (L)	-0,534*	0,0244ns	-0,2243ns	0,053ns
R ²	0,74	0,97	0,77	0,95

Umidade (U); torta de gergelim desengordurada (TGD); viscosidade de quebra (VQ); *significância a 5% de probabilidade; não significativo (ns).

Os resultados da VQ dos EGM e EGA com adição de TGD são apresentados na Tabela 37. No coeficiente de determinação (0,74) dos EGM, representado pelas variáveis umidade e TGD, tanto as regressões lineares quanto as quadráticas e interações foram significativas, a ($P < 0,05$). Em contrapartida, o coeficiente de determinação $R^2 = 0,77$ dos EGA explica que mais de 77% da variação total da variável resposta foram significativos a ($P < 0,05$), com efeito linear negativo e quadrático positivo no teor de umidade. Dessa forma, podem ser demonstrados os resultados dos efeitos significativos e eliminar os não significativos dos gráficos de superfície de respostas. Portanto, na Figura 38A dos EGM com adição de TGD apresentam-se valores altos da QV com 24% e 39% de umidade e 20% a 40% de TGD, enquanto que, com 24% a 34% de umidade e 0,01% a 40% de TGD, ocorreu redução na QV. Os baixos valores da quebra da viscosidade devem-se ao fato de na degradação da fração amilácea não ter ocorrido efeito significativo de viscosidade (SOUZA; LEONEL, 2010).

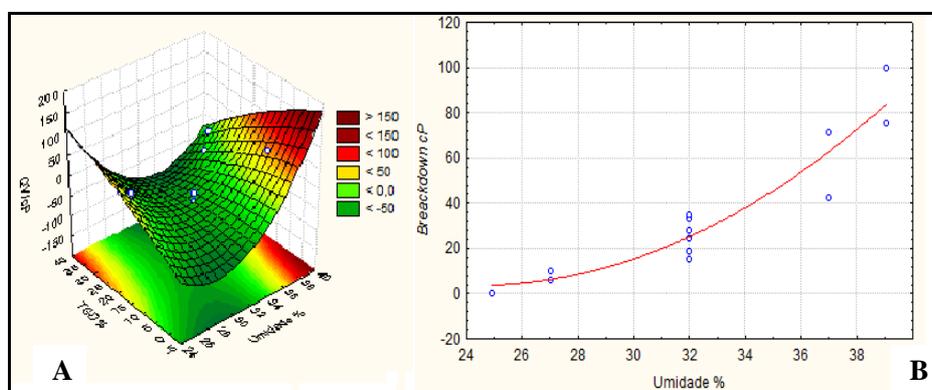


Figura 38 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do *breakdown*, dos *pellets* de grãos de milho (A) e grãos de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Os amidos, que são capazes de inchar com um alto grau de umidade, também são menos resistentes à quebra da viscosidade durante o cozimento, exibindo, conseqüentemente, diminuição na viscosidade, depois de atingir o valor máximo (SINGH et al., 2003). Bhattacharya, Sudha e Rahim (1999) estudaram o efeito de parâmetros de extrusão em misturas de farinha de batata e de trigo e obtiveram menores valores de quebra de viscosidade (QV) em baixa umidade (15,5%); com alta umidade (20,7%), houve aumento significativo nos valores da QV. Segundo os autores, os elevados teores de umidade na matéria-prima podem agir como lubrificante, reduzindo a viscosidade durante a extrusão e elevando os valores de quebra de viscosidade. Esta constatação está de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pois a alta umidade foi o parametro que influenciou a alta quebra da viscosidade na farinha dos extrudados de grits de milho.

Analisando-se a Figura 38B dos EGA, percebe-se que a QV aumentou com valores altos de umidade (37% a 40%) e, com valores baixos (24% a 30%) de umidade, ocorreu menor VQ. Portanto, a maior quebra da viscosidade ocorreu por meio do maior teor de umidade presente nos tratamentos. A viscosidade de quebra representa a diferença entre a viscosidade máxima e mínima das farinhas avaliadas. Ela representa a resistência do amido à agitação mecânica, em que é possível avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, cujos ângulos se rompem sob agitação mecânica (THOMAS; ATWELL, 1999). Neste trabalho dos extrudados com grits de arroz e adição de TGD, o aumento da temperatura de 95 °C levou à gelatinização do amido, o que provocou o aumento da viscosidade em função da presença das moléculas de amilose liberadas para a suspensão e dos grânulos de amido inchados. Com a continuidade do ciclo de aquecimento a 95 °C, a queda da viscosidade de 100 cP cai para zero cP, o que pode ser atribuído ao alinhamento das moléculas de amilose sob a etapa de cisalhamento dos extrudados (SILVA et al., 2004).

Os resultados dos coeficientes de determinação (0,97 e 0,95) dos EGM e EGA estão apresentados na Tabela 31, explicando que mais de 97% e 95% da variação total da variável resposta foram significativos, com ($P < 0,05$). Nas variáveis dos EGM, pode-se perceber que houve contribuição linear positiva, quadrática negativa no teor de umidade e de TGD nos valores do *setback*. Os efeitos lineares negativos das variáveis significam que houve tendência na redução do *setback* (inversamente proporcional) a umidade. Portanto, nos resultados obtidos nos EGA, pode-se observar que houve efeito linear negativo e quadrático positivo nas variáveis umidade e TGD, com efeito significativo a ($P < 0,05$).

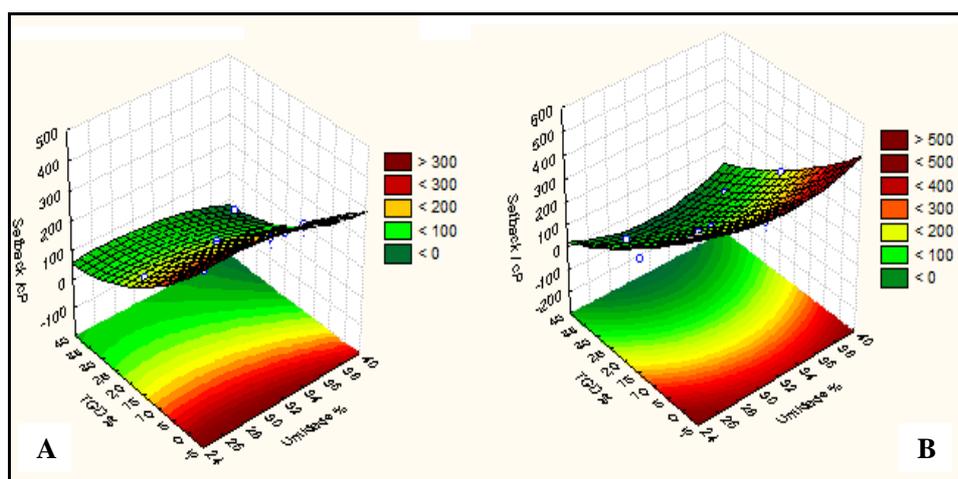


Figura 39 Representação gráfica na forma de superfície de resposta do comportamento do *setback* dos *pellets* de grãos de milho (A) e grãos de arroz (B) com adição de TGD, em função dos níveis de umidade (%) e TGD (%)

Os gráficos tridimensionais de superfície de resposta (Figura 39) representam o efeito das variáveis umidade e teor de TGD dos valores do *setback*.

Nos EGM (Figura 39A), o *setback* tende a ser elevado com alto valor de umidade e baixo valor de TGD, enquanto que, com elevados valores de umidade e de TGD, tende a ser reduzido. Em contrapartida (Figura 39B), nos EGA, os valores de *setback* tendem a ser minimizados, com alta concentração de umidade e de TGD, enquanto que, com altas concentrações de água e baixa concentração de TGD, os valores de *setback* tendem a ser maximizados. Portanto, pode-se dizer que os dois delineamentos apresentaram similaridade nos resultados.

5 CONCLUSÃO

O gergelim em grão e a torta de gergelim desengordurada apresentam-se como boas opções para o enriquecimento dos extrudados não expandidos direto (*pellets*).

Do ponto de vista nutricional, o gergelim em grão e a torta de gergelim desengordurada podem ser recomendados na elaboração de *pellets*, devido ao teor reduzido de carboidratos e maior percentual de proteínas, lipídios e fibras. Além destes, consideram-se elevados os níveis de fósforo, potássio, cálcio, enxofre, cobre, manganês, zinco e ferro.

As características físicas índice de absorção em água, índice de expansão volumétrica, luminosidade e cromaticidade b^* são influenciadas por menor teor gergelim em grão, enquanto o índice de solubilidade em água, a densidade pós-fritura, a cromaticidade a^* e a diferença de cor sofreram influência de maiores valores da adição da semente nos extrudados de grits de milho e gergelim em grão.

Nos extrudados de grits de arroz, o alto teor de gergelim influencia as características físicas e tecnológicas de vazão, índice de absorção em água, densidade absoluta, índice de expansão volumétrica, trabalho de crocância e cromaticidade b^* .

A adição do alto valor de torta desengordurada influencia o índice de absorção em água, densidade antes da fritura, *setback*, cromaticidade a^* e diferença de cor, e as variáveis densidade absoluta, densidade pós-fritura, índice de expansão volumétrica, força resultante, viscosidade inicial de pasta, viscosidade máxima, *breckdown*, luminosidade e cromaticidade b^* sofreram influência da menor adição da torta nos extrudados de grits milho.

As variáveis vazão, índice de solubilidade em água, densidade antes da fritura, densidade pós-fritura, *setback*, cromaticidade a^* e diferença de cor foram influenciadas pela maior adição da torta, enquanto o índice de expansão

volumétrica, a força de compressão, a viscosidade inicial de pasta, a luminosidade e a cromaticidade b^* sofreram menor influência de menores valores de torta de gergelim desengordurada nos extrudados de grits de arroz.

Portanto, pode-se afirmar que o estudo mostrou-se viável quanto à obtenção dos extrudados não expandidos direto com adição de gergelim em grão e adição de torta de gergelim desengordurada, com boas características tecnológicas.

Dessa forma, conclui-se que os melhores resultados foram obtidos nos extrudados de grits de milho e a adição de gergelim em grão e nos extrudados de grits de arroz com adição de torta de gergelim desengordurada.

REFERENCIAS

- ADEDAMOLA, A. A.; GAN, K. N. **Toxicological profile for zinc**. US Department of Health and Human Services. Disponível em: <p://ftp.usace.army.mil/pub/spa/Brown%20and%20Bryant%20FTP/OU2/RI-FS/Risk%20Assessment/Appendix%20C/zinc.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2012.
- AGUILAR-PALAZUELOS, E.; ZAZUETA-MORALES, J. de. J.; MARTINEZ-BUSTOS, F. Preparation of high-quality protein-based extruded pellets expanded by microwave oven. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n. 4, p. 363-369, 2006.
- AINSWORTH, P. et al. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the select physical and nutritional properties of an extruded snack. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 81, p. 702-709, 2007.
- ALMEIDA, C. S. da. **Estudo do processo contínuo para produção de açúcar invertido por via enzimática**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- ALMEIDA, N.F.de.; MORI, F.A.; GOULART, S.L.; MENDES, L.M. Estudo da reatividade de taninos de folhas e cascas de barbatimão *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 401-408, set. 2010.
- ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDURY, K. P. H.; ARPER, J. M. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, p. 609-615, 1988.
- ALVIM, I. D.; SGARBIERI, V. C.; CHANG, Y. K. Development of extruded mixed flours based on corn flour, yeast derivates and casein. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 170-176, ago. 2002.
- AMARAL, C. M. C. do. **Extrusão e peletização de ração completa: efeitos no desempenho, na digestibilidade e no desenvolvimento das câmaras gástricas de cabritos saanen**. 2002. Dissertação. (Mestrado em Produção Animal)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2002.
- ANDERSON, R. A.; C. H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JR., L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.

ANDREONI, J. Pure altruism and donations to public goods – a theory of warm-glow giving. **Economic Journal**, Cambridge, v. 100, n. 401, p. 464-477, 1990.

ANTONIASSI, R.; FIRMINO, P. T.; ARRIEL, N. H. C.; DALVA, A.; ROSA, R.; JABLONKA; VIEIRA, D. J. Avaliação da composição química de cultivares de gergelim desenvolvidos pela EMBRAPA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro:SBCTA, 1997.

ARÁMBULA, G. V. et al. Effects of starch gelatinisation on the thermal, dielectric and rheological properties of extruded corn masa. **Journal of Cereal Science**, London, v. 27, p. 147-155, 1998.

ARAÚJO, M. S. de. **Desenvolvimento de extrudado para cereal matinal enriquecido com fruto-oligossacarídeos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

AREAS, J. A. G. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 32, n. 4, p. 365-392, 1992.

ARRIEL, N. H. C.; ARAUJO, A.E.; SOARES, J.J.; BELTRÃO, N.M.; FIRMINO, P.T. **Cultivo de gergelim**. Embrapa, 2008. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Gergelim/CultivoDoGergelim/composicaoquimica.html>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

ARRIEL, N. H. C.; ARAÚJO, A.E.; SOARES, J.J.; BELTRÃO, N.E.M.; FIRMINO, P.T. Cultivo Gergelim, Sistemas de produção, Embrapa Algodão, n.06, 2006.

ARRIEL, N. H. C.; VIEIRA, D. J.; FIRMINO, P. T. Situação atual e perspectivas da cultura do gergelim no Brasil. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste Brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido/ Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. Disponível em: <<http://www.cpatia.embrapa.br/catalogo/livror/gergelim.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

ASCHERI, J.L.R., BERNAL-GÓMEZ, M.E., CARVALHO, C.W.P. Produccion de snacks, a partir de mezclas de harinas de arroz y camote, por extrusion termoplastica. Parte I. caracterización química, índice de expansión y densidad aparente. **Alimentaria**, Jun, p.71-78. 1998.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. **Apostila de extrusão de alimentos**: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para o consumo humano. Brasília: Embrapa CTAA, 2008a.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. **Curso de processo de extrusão de alimentos**: aspectos tecnológicos para desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal. Rio de Janeiro: Embrapa, 2008b.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Efecto de los parámetros de extrusión, características de pasta y textura de “pellets” (snacks de terceira generación) producidos a partir de trigo y maíz. **Alimentaria**, Madrid, v. 279, n. 1 p. 93-98, 1997.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. **Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos**. Rio de Janeiro: Embrapa CTAA, 1997. 43 p.

ASCHERI, J. L. R. **Curso de processo de extrusão de alimentos**: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2006.

ASCHERI, J. L. R. **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas e químicas de produtos intermediários (Half-Products)**. 1994. Tese. (Doutorado em Tecnologia dos Alimentos)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

ASCHERI, J. L. R. **Elaboração de snacks, farinha pré-gelatinizada e instantânea de subprodutos de engenhos de arroz por extrusão termoplástica**. 2000. 19 p. (Relatório de Projeto).

ASCHERI, J. L. R.; CIACCO, C. F.; RIAZ, M. N.; LUSAS, E. W. Efecto de la formulación sobre las expansión y viscosidad de snacks (pellets) producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**, Madrid, v. 286, n. 12, p. 111-116, 1995.

ASCHERI, D.P.R.; ANDRADE, C.T.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1, p 115-144, 2006b.

ASCHERI, J. L. R.; MODESTA, R. C.; D’ella CARVALHO, J. L. V. de. **Curso de processo de extrusão de alimentos**: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2006.

ASCHERI, J. L. R.; NASCIMENTO, R. E. **Processo de elaboração de snacks (pellets) de farinha de arroz e isolado protéico de soja por extrusão termoplástica**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 1999. p. 1-4. (Comunicado Técnico, 34).

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

ASSAO, T. Y. et al. A importância do ferro na saúde e nutrição do grupo de materno – infantil. **Revista Compacta Nutrição**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 1-22, 2004. Disponível em: <http://www.danone.com.br/pdf/A_Importancia_do_Ferro.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington, 1990.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the AOAC Internacional**. 16. ed. Washington, 1997.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC Internacional**. 17. ed. Arlington, 2000.

AUGSTBURGER, F. et al. Ajonjolí (Sésamo): parte especializada: producción orgánica de ajonjolí. In: _____. **Agricultura orgánica en el trópico y subtropical**. 1. ed. Gräfeldt ng: Naturland, 2000. 30 p.

BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 5, p. 1334-1337, 1991.

BARROS, M. A. et al. Importância econômica e social. In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. (Coord.). **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 348 p.

BARROS, M. A. L.; SANTOS, R. F. dos. **Situação do gergelim nos mercados mundial e nacional, 1995 a 2002**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 8 p. 2002. (Circular Técnico, 67). Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2002/CIRTEC67.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2008.

BASTOS, E. Guia para o cultivo do milho. São Paulo: Ícone, 1987.
A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola.
In: **SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA**, 4., 2000, Goiânia. Anais...
Disponível em:
<http://www.cnpqa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_s3f21x6f.pdf>.
Acesso em: 19 fev. 2012.

BELTRÃO, N. E. M.; VIEIRA, D. J. **O agronegócio do gergelim no Brasil**.
Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 121-160.

BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A. Kinetics of starch gelatinization during extrusion cooking. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, p.764-766, 1987.

BHATTACHARYA, S.; CHOUDHURY, G. S. Twin-screw extrusion of rice flour: effect of extruder length-to-diameter ratio and barrel temperature on extrusion parameters and product characteristics. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 18, p. 389-406, 1994.

BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M.L.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat flours. **Journal Food Engineering**, v. 40, p. 107-111, 1999.

BJÖRCK, I.; ASP, N.G. The effects of extrusion-cooking on nutritional value. A literature review. **Journal Food Engineering**, v. 2, p. 281-308, 1983.

BOMBO, A. J. **Obtenção e caracterização nutricional de snacks de milho (*Zea mays L.*) e linhaça (*Linum usitatissimum L.*)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Nutrição)-Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2006.

BOONYASIRIKOOL, P.; CHARUNUCH, C. Development of corngrit-broken rice based food by extrusion cooking. **National Science**, v. 34, p. 279-288, 2000.

BORBA, A.; MENEGAT, D.; THOMÉ, F. Crocância. Disponível em: <www.ufrgs.br/alimentus/feira/prcerea/biscoitodearroz/crocancia.htm>. Acesso em: 12 ago. 2010.

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

BORGES, J. T. S. **Elaboração de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa e farinha de arroz utilizando o processo de extrusão termoplástica**. 2002. 116 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2002.

BORGES, V. C. et al. Minerais. In: _____. **Nutrição oral, enteral e parenteral na prática clínica**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2004. 117 p.

BOTELHO, G. **Análise sensorial**. O que é a textura dos alimentos? Disponível em:
<http://www.esac.pt/noronha/A.S/09_10/AS%20TP%20n%C2%BA%207%20T%20extura.pdf.a>. Acesso em: 26 fev. 2010.

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

BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. **Empirical model-building with response surface**. [S. l.]: A Book Published, 1967.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building**. New York: J. Wiley, 1978.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by approximate response function**. Wisconsin: University of Wisconsin, 1973. (Technical Report, 9).

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n. 360, de 2003 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Aprova o regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 26 de dezembro de 2003. Disponível em:
<<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=9059&word=>>>. Acesso em: 20 out. 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). DIRETORIA DE POLÍTICA AGRÍCOLA E INFORMAÇÕES. Superintendência de Informações do Agronegócio. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2010/ 2011**. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_06_12_16_15_32_boletim_portugues_junho_2012.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2012.

BULÉON, A. et al. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, p. 85-112, 1998.

CAI, W.; DIOSADY, L. L. Model for gelatinization of wheat starch in a twin-screw extruder. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, p. 872-887, 1993.

CALDWELL, R. W. Sesame meal. In: ALTSCHUL, A. M. (Ed.). **Processed protein foodstuffs**. New York: Academic, 1958. p. 535-556.

CALVETTE, Y. M. de.; MAIA, G.a.; TELLES, F.J.S.; MONTEIRO, J.C.S.; SALES, M.G. Processamento de gergelim (*Sesamu Indicum L*). Revista Ciencias Agrônômicas. Fortaleza, 24(1/2); pág 57-62. Junho-Dezembro, 1993.

CAMARGO, C.; COLONNA, P.; BULEON, A.; RICHARD-MOLARD, D. Functional properties of sour cassava (*Manihot utilissima*) starch: Polvilho azedo. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 45, p273-289. 1988.

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

CARDOSO-SANTIAGO, R. A. Desenho de alimento extrusado para intervenção nutricional à base de milho (*Zea mays L.*) e pulmão bovino. Tese. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública, 103 p. São Paulo, 2002.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; MITCHELL, J. R. Efecto del azúcar em la expansión, energía mecânica específica y textura em extruídos de maíz e trigo. **Alimentaria**, v. 39, n. 339, p. 53-60, 2000.

CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. **Produção de extrusados doces**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004.

CARVALHO, C. W. P. et al. 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, n. 98, p.103-109, 2010.

CEDROLA, S.M.L. Utilização de resíduos da indústria avícola para produção de filmes biodegradáveis. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ Escola de Química – EQ. Rio de Janeiro, 2009.

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial e alimentos e bebidas**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 81 p.

CHAVEZ, J.F.; PELLET, P.L. Protein quality of some representative Latin American diets by rats bioassay. *Journal Nutrition*. Bethesda, v.106, p.92-801, 1976.

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

CHEN, C-M, YEH, A-I. Effect of amylose content on expansion of extruded rice pellet. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 3, p. 261-266, 2001.

CHIANG, B. Y., JOHNSON, J.A. Gelatinization of starch in extruded products. *Cereal Chemistry*, v.54, n.3, p.436-443. 1977.

CHINNASWAMY, R.; BHATTACHARYA, K. R. Studies on expanded rice. Physicochemical basis of varietal differences. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, p. 1600-1603, 1983.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M.A. Optimum extrusion cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.3, p.834-840. 1988.

CHOUDHURY, G. S., GAUTAM, A. Comparative study of mixing elements during twin-screw extrusion of rice flour. *Food Research International*. v.31, n.1, p. 7-17. 1998.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1957. 611 p.

COLONNA, P. et al. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, v. 61, n. 6, p. 538-543, 1984.

COLONNA, P.; TAYEB, J.; MERCIER, C. **Extrusion cooking of starch and starchy products**. In: **MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (Ed.)**. Extrusion cooking. **St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1989. p. 247-319.**

COMMISSION INTERNATIONALE DE L' ECLAIRAGE. **Recommendation on uniform color Spaces-color difference equations, photometric color terms.** Paris: CIE, 1978.

COPPINI, L.Z.; WAITSZERG, D.L.;CAMPOS, F.G; GAMA, A.H. **Fibras Alimentares e Ácidos Graxos de cadeia curta.** In Nutrição oral, enteral e parenteral na prática clínica. 3.ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2004. 79p.

DANDY, D. A. V.; DOBRASZCZYK, B. J. **Cereals and cereal products: chemistry and technology.** Maryland: Aspen, 2001. 428 p.

DELGADO-NIEBLAS, C.; PALAZUELOS-AGUILAR, E.; INFANTE-GALLEGOS, A. Caracterização e otimização de extrusão termoplástica para a fabricação de terceira geração snacks com Squash Winter (Cucurbita moschata D.) farinha. **AACC Internacional**, v. 89, n. 1, p. 65-72, jan./fev. 2012.

DUTOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos.** Curitiba: Champant, 1996. 123 p.

EL-DASH, A. A. **Termoplastic extrusion of food, theory and techniques.** Campinas: UNICAMP, 1982. 81 p.

ELEUCH, M. et al. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. **Food Chemistry**, London, v. 103, p. 641-650, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/curso-de-extrusao-de-alimentos-na-embrapa>>. Acesso em: 23 mar. 2009.

ENGLYST, H. et al. Starch and non-starch polysaccharides in some cereal foods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 341, p. 1434-1440, 1983.

EPSTEIN, L. **Cultura – Gergelim.** Salvador: SDA/DDA/SEAGRI, 2000. (Boletim Técnico). Disponível em: <<http://bahia.ba.gov.br/seagril/gergelim.htm#O%206leo>> Acesso em: 28 jun. 2006.

ESTADO DO PARANÁ. SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL DO MILHO. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2011/2012.** Curitiba, 2012.

ESTELLER, M. S.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. S. Effect of Sugar and Fat Replacers on the Texture of Baked Goods. **Journal Texture Studies**, Trumbull, v. 35, p. 383-393, 2004.

ESTELLER, M. S. et al. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 602-607, 2004.

ESTEVEES, E. **Apostila de análise sensorial**. Universidade do Algarve. Instituto Superior de Engenharia, 2009. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/esteves/docs/Microsoft%20Word%20-%20AnaliseSensorial_091.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2012.

FALCONE, F. G.; PHILLIPS, R. D. Effects of feed composition, feed moisture and barrel temperature of the physical and rheological properties of snack-like products prepared from cowpea and sorghum flour by extrusion. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, p. 1464-1467, 1988.

FERNANDES, S. M. et al. Caracterização química de extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. *Pesqu. Agropec. Bras.*, v. 35, n. 4, p. 843-847, 2000.

FERREIRA, A. de. O. **Manipulação de pellets**: aspectos críticos e controle de qualidade. Disponível em: <<http://www.ortofarma.com.br/INTRANET/Web%20Forms/arquivos/Artigos%20>>. Acesso em: 26 mar. 2009.

FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar. Exe**: sistema de análise de variância. Versão 3.04. Lavras: UFLA/DAE, 2000. Software.

FERREIRA, S. M. R. **Controle da qualidade em sistemas de alimentação coletiva I**. São Paulo: VARELA, 2002.

FIRMINO, P. de. T. et al. **Aproveitamento de gergelim (*Sesamum indicum* L) em produtos panificáveis**. Campo Grande: Embrapa, 2001. (Comunicado Técnico, 131).

FOLEY, J. D. et al. **Computer graphics**: principles and practice. Reading: A. Wesley, 1990. 1176 p.

FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION. **Statistical data**. Roma. Disponível em: (<<http://faostat.fao.org/faostat>>). Acesso em: 15 jun. 2005.

FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION. **Statistical data**. Roma. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>>. Acesso em: 15 dez. 2006.

FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION. AGRICULTURE ORGANIZATION/WHO/UNU. **Exigências de proteína e aminoácidos na nutrição humana**: Genebra, Suíça, 2007, n. 276 .

FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION /WHO. **Protein quality evaluation**. Rome, 1991. (FAO Food and Nutrition, Paper 51).

FOOD INGREDIENTES BRASIL. **Dossiê os minerais na alimentação**. 2008. n. 4. Disponível em: <<http://www.revista-fi.com/materias/52.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2012.

FORNAL, L. et al. Chemical characteristics and physicochemical properties of the extruded mixtures of cereal starches. **Starch/Stärke**, v. 39, p. 75-78, 1987.

FRANCESCHINI, S. C. C.; PRIORE, S. E.; EUCLYDES, M. P. “Necessidades e recomendações de nutrientes”. In: CUPPARI, L. **Nutrição clínica no adulto**. 2. ed. Barueri: Manole, 2005. p. 3-32. (Guias de Medicina Ambulatorial e Hospitalar).

FREITAS, M. Q. de. **Análise sensorial de alimentos**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense. Faculdade de Veterinária. Departamento de Tecnologia dos Alimentos, 2012.

GOGOI, B. K.; CHOUDHURY, G. S.; OSWALT, A. J. Effects of location and spacing of reverse screw and knead- ing element combination during twin-screw extrusion of starchy and proteinaceous blends. **Food Research International**, v. 29, n. 5-6, p. 505-512. 1996.

GOGOI, B. K.; OSWALT, A. J.; CHOUDHURY, G. S. Reverse screw element(s) and feed composition effects during twin-screw extrusion of rice flour. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 3, p. 590-595. 1996.

GOGOI, B. K.; YAM, K. L. Relationships between residence time and process variables in a corotating twin- screw extruder. **Journal of Food Engineering**, v. 21, p. 177-196, 1994.

GOMEZ, M. H., AGUILERA, J. M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 1, p. 40-43, 1984.

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

GONÇALVES, R. A. **Rendimento de cultivares de milho em grãos para produção de snacks**. 2001. 55 p. Tese .Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2001.

GUERREIRO, L. **Produtos extrusados para consumo humano, animal e industrial**. Rio de Janeiro: REDETEC, 2007.

Disponível em: <www.sbrt.ibict.br/dossiê-técnico/downloadsDT/0xb6c340x5800x985a4fc>. Acesso em: 18 out. 2010.

GUNNING, Y. M., GUNNING, P. A., KEMSLEY, E. K., PARKER, R., RING, S. G., WILSON, R. H., BLAKE, A. Factors affecting the release of flavor encapsulated in carbohydrate matrixes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p.5198-5205. 1999.

GUTKOSKI, L. C. **Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade**. 1997. 241 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)- Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 1997.

GUTKOSKI, L. C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. Cap. 7, p.103-169.

GUY, R. C. E.; HORNE, A. W. Extrusion and co-extrusion of cereals. In: BLANSHARD, J.M.V.; MITCHELL, J. V. (Ed.). **Food structure its creation and evaluation**. London: Butterworths, 1988. p. 331-349.

GUZMAN, L. B.; LEE, T-C.; CHICHESTER, C. O. Lipid binding during extrusion cooking. In: KOKINI, J. L.; HO, C. T.; KARWE, M. V. (Ed.). **Food extrusion science and technology**. New York: M. Dekker, 1992. p. 427-436.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. **Jornal Cereal Sc.**, v. 43, p. 38-46, 2006.

HARPER, J. M. A comparative analysis of single- and twin-screw extruders. In: KOKINI, J.L., HO, C. T.; KARWE, M. V. (Ed.). **Food extrusion science and technology**. New York: M. Dekker, 1992. p. 139-148.

HARPER, J. M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC, 1981. v. 1, p. 7-19.

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

HEIDENREICH, E. Operation strategies for expansion cooking. **Feed Mix**, v. 2, p. 32-34, 1994.

HO, C.T.; IZZO, M.T. Lipid protein and lipid carbohydrate interaction during extrusion. In: KOKINI, J. L.; HO, C. T.; KARWE, M. V. (Ed.). **Food extrusion science and technology**. New York: M. Dekker, 1992. p. 427-436.

HOMBURG, C.; HOYER, W.; KOSCHATE, N. Customers' reactions to price increases: do customer satisfaction and perceived motive fairness matter? **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 33, n. 1, p. 36-49, Feb. 2005.

HUBER, G. R. Carbohydrates in extrusion processing. **Food Technology**, v. 43, n. 3, p. 160-161, 1991.

JIN, Z.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical- properties and microstructure of corn meal extrudate. **Journal of Cereal Science**, London, v. 22, p. 185-194, 1995.

KAHNEMAN, D.; KNETSCH, J. Valuing public goods: the purchase of moral satisfaction. **Journal of Environmental Economics and Management**, Laramie, v. 22, n. 1, p. 57-70, Jan. 1992.

KALICHEVSKY, M.; RING, S. Incompatibility of amylose and amylopectin in aqueous solution. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 162, p. 323-328, 1987.

KIRBY, A. R. et al. An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 8, p. 247-272, 1988.

KLEIN, A. A. Pontos críticos do controle de qualidade em fábricas de ração: uma abordagem prática. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL ACAV – EMBRAPA SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, 1., 1999, Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA/ CNPSA, 1999. p. 1-19. (Documentos, 56). Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/anais56_klein.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2012.

KRAMER, A.; TWIGG, B. A. **Fundamentals of quality control for the food industry**. Westport: The AVI Connecticut, 1962.

KOKINI, J. L., CHANG, C. N., LAI, L. S. The role of rheological properties on extrudate expansion. In: **Food Extrusion Science and Technology**, eds J. L. Kokini, C.; T. Ho and M. V. Karwe, p. 345-360. Marcel Dekker, New York. 1991.

LANGHAM, D. R.; WIEMERS, T. Progress in mechanizing sesame in US through breeding In.: JANICK, J.; WHIPCKEY, A. (Ed.). **Trends in new crops and new uses**. Alexandria: ASHS, 2002. p. 157-173.

LARREA, M. A.; CHANG, Y. K.; BUSTOS, F. M. Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. **Food Chemistry**, London, v. 89, p. 301-308, 2005.

LAUNAY, B.; KONE, T. Twin screw extrusion cooking of corn starch: flow properties of starch pastes. In: _____. **Thermal processing and quality of food**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p. 54-56.

LEONEL, M. **Processamento de batata: fécula, flocos, produtos de extrusão**. Botucatu: UNESP/CERAT. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/minas2005/18%20-20Outras%20formas%20de%20processamento.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2009.

LEVINE, L. Estimating output and power of food extruders. **Journal of Food Processing Engineering**, v.1, p.1-13, 1983.

LEWICK, P. C. **StatSoft estatística**. Disponível em: <<http://www.statsoft.com/company/news/open-letter-aid-for-european-struggling-economies>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

LEWIS, M. J. **Propriedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 1993. 494 p.

LIMA, D. M. et al. **Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO: versão 2. 2. ed.** Campinas: Unicamp, 2006. 113 p.

LIMBERGER, V. M. **Modificação física e química do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2006.

LIMBERGER, V.M.; COMARELA, C.G.; PATIAS, L.D.; BRUM, F.B.; EMANUELLI, F.; da SILVA, L.P. Produção de salgadinho extrusado de quirera de arroz para uso na indústria de alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2590-2594, dez, 2009.

LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. HTST extrusion of cereal based materials. In: POMERANZ, Y. **Advances in cereal sciences and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. v. 4, p. 145-235.

LUE, S.; HSIEH, F.; HU, 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, Mar. 1991.

LUSAS, E; RIAZ, M. An introduction to extruders and extrusion principles. **Extrusion Communiqué**, v. 7, n. 4, p. 9-34, 1994.

MAIA, G.A.; CALVETE, Y.M.de.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. **Revista Pesq. agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.7, p.1295-1303, jul. 1999.

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

MAMEDE, A. M. G. N. et al. Determinação da textura de grãos de milho verde minimamente processado. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 4.; SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE VEGETAIS FRESCOS CORTADOS, 1., 2006, São Pedro. **Resumos...** São Pedro, 2006. p. 192-192.

MANOHARKUMAR, B. et al. On some correlation between grain compositions and physical characteristics to the dry milling performance in maize. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 15, n. 1, 1978.

MANTUANO, C. **Propriedades da milagrosa abóbora ou Cucurbita Pepo**. 2004. Disponível em: <<http://www.saborearte.com>> Acesso em : 10 jul. 2004.

MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. **Bioquímica básica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1999.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 79-93, 2002.

MAZZA, G. et al. Anthocyanins, phenolics, and color of Cabernet Franc, Merlot, and Pinot Noir wines from British Columbia. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 47, n. 10, p. 4009-4017, 1999.

MCGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience** Alexandria, v. 27, n. 12, p. 1254-1555, Dec. 1992.

MENDONÇA, S.; GROSSMANN, M. V. E.; VERHÉ, R. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. **Lebensmittel-Wissenschaft und-technologie**, v.33, n.1, p.2-8, 2000.

MENDONÇA, X. M. F. D. **Efeito da adição de isolado protéico de soja nas propriedades físico-química de pellets de farinha de arroz**. 2000. 104 p. Dissertação. (Mestrado)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

MENDONÇA, X. M. F. D. **A extrusão termoplástica no desenvolvimento de produtos derivados de amaranto**. 2005. 211 p. Tese. (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MENEGASSI, B. et al. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciencia & Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, nov./dez. 2007.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 52, n. 3, p. 283-297, 1975.

MERCIER, C. Effect of extrusion cooking on potato starch using a twin-screw french extruder. **Starch/Staerke**, v. 29, p. 48-52, 1977.

MILLER, R.C; MULVANEY, S. Unit operations and equipment: IV. Extrusion and extruders. In: FAST, R.; CALDWELL, E (Ed.). **Breakfast cereals and how they are made** 2nd ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 2000. p. 215-278.

MILANIA, M.; GONDIM, T.M.S.; COUTINHO, D. **Cultura do gergelim circular**Técnico 83, p1-10, Campinas Gande, 2005.

MIRANDA, M. Z. de. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral**. 1998. 216 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 1998.

MIRANDA, R. B. **Avaliação da qualidade de mamões “Papaia” minimamente processados**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. 73 p.

MISHRA, S.; RAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 20, n. 5, p. 557-266, 2006.

MITCHELL, J. R.; ARÊAS, J. A. G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J. L.; HO, C. T.; KARWE, M. V. (Ed.). **Food extrusion science and technology**. New York: M. Dekker, 1992. n. 49, p. 345-360.

MODESTA, R. C. D’ella. Avaliação sensorial de produtos extrusados. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**: curso de processo de extrusão de alimentos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, 2006.

MOURA, R. A. Efeito das variáveis de extrusão e da incorporação de glúten, amilose e farinha de milho na qualidade tecnológica da farinha de rosca extrusada em base de trigo. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

NASCIMENTO, E. M. da. G. C.do. **Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica**. 2010. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.btd.ufrj.br/tde_arquivos/12/TDE-2012-04-20T081007Z-1087/Publico/Elisabete%20Maria%20da%20Graca%20c%20Nascimento.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2012.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Dietary reference intakes (DRIs)**. Food and Nutrition Board. Institute of Medicine. Disponível em: <www.nationalacademier.org>. Acesso em: 29 abr. 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Recommended dietary allowances** 10th ed. Washington: National Academy of Sciences, 1989.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for the series 3 Rapid Visco Analyser using thermocline for Windows**. Warriewood: Newport Scientific, 1998. p. 1-92.

NIKOLAIDIS, A., LABUZA, T. P. Glass transition state diagram of a baked cracker and its relationship to gluten. **Journal of Food Science**, v.61, p.803-806. 1996.

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

OLIVEIRA, M. P. de. M. et al. **Análise sensorial**. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo/Secretaria Municipal de Gestão/Departamento da Merenda Escolar, 2008.

ONWULATA, C. I. et al. Co-extrusion of Dietary Fiber and Milk Proteins in Expanded Corn Products. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 34, n. 7, p. 424-429, 2001.

OSBORNE, D. R.; VOOGT, P. **The analysis of nutrient in foods**. London: Academic, 1978. 251 p.

OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F. R.; STANLEY, S.W. Physico-chemical changes in corn starch as a function of extrusion variables. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 60, p. 319-324, 1983.

PAES, M. C. D.; MODESTA, R. C. D.; GAMA, E. E. G. Textura em grãos de híbridos experimentais destinados à produção de milho verde. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 2004. p. 513.

PERUSSELLO, C. A. **Estudo dos parâmetros de processo e modelagem numérica da secagem do resíduo sólido da produção do extrato hidrossolúvel de soja (okara)**. 2008. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

PRIMO, A. P. Torta de gergelim de frangos e corte. Dissertação. Engenharia de Sistemas Agroindustriais. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE. Cascavel, 2008.

RAGAE, S.; ABDEL-AAL, E. S. M. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, Oxford, v. 95, n. 1, p. 9-18, 2006.

RAMIREZ, J. L. A.; WANDERLEI, C. Efecto de los parámetros de extrusión. Característica de Pasta y Textura de *pellets* (Snacks de Terceira Geración) producidos a partir de trigo y maíz. **Alimentaria**, n. 279, p. 93-98, Ene./Feb. 1997.

RESCHSTEINER, M. S.; CABELLO, C. Produção, digestibilidade e amido resistente em biscoitos extrusados a partir de farinha e fécula de batata doce e mandioca. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 51-68, 2007.

ROBUTTI, J. et al. Endosperm properties and extrusion cooking behavior of maize cultivars. **LebensmittelWissenschaft+Technologie**, v. 35, n. 8, p. 663-669, 2002.

ROSTAGNO, H. S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, 2000.

SAAD, S. et al. **Alimentos extrusados**. São Paulo: USP/Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2008.

SACCHETTI et al. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based salgadinholike products. **Food Research International**, v. 37, p. 527-534, 2004.

SAIKUSA, T. et al. 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**, v. 42, p. 1122-1125, 1994.

SANTOS, H. M. M. et al. Obtenção de *pellets* por extrusão e esferonização farmacêutica. Parte I. Avaliação das variáveis tecnológicas e de formulação. **Revista Brasileira de Ciência e Farmacêutica**, v. 40, n. 4, p. 454-470, out./dez. 2004.

SARRUGE, J. R. R.; HAGG, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQU/USP, 1974. 56 p.

SEBIO, L.; CHANG, Y.K. Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. **Nahrung**, Weinheim, v. 44, n. 2, p. 96-111, 2000.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscore spp.*)**. 1996. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1996.

SENFF, C. et al. **Ingredientes e composição do snacks salgadinho**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/alimentus/feirerea/prcerea/extrusad/prconsi.htm>>. Acesso em: 11 fev. 2001

SENFF, C. et al. **Efeito das variáveis do processo de extrusão nas propriedades funcionais do amido**. 2001. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/alimentus/feira/prcerea/extrusad/prcefeit.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Agricultura e pecuária**. Disponível em: <www.sbrt.com.br>. Acesso em: 16 fev. 2009.

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

SHUKLA, T. P. Critical chemistry of extrusion processing of grains. **Cereal Foods World**, v. 43, n. 1, p. 43-44, 1998.

SILVA, E. M. M. da. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

SILVA, M. A. A. P. **Métodos de avaliação sensorial dos alimentos**. Campinas: UNICAMP, 2004. (Apostila).

SILVA, M. C. et al. Processing of corn starch in an internal mixer. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 303-310, abr. 2004.

SILVA, R. F. da.; ASCHERI, J. L. R.; PERERIA, R. G. F. A. Composição química de farinhas pré-cozidas por extrusão elaboradas com arroz e café torrado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 67, n. 1, p. 52-58, 2008.

SILVA, M. C. da. **Extrusão de farinha de arroz: efeito da água e da sacarose**. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; GILL, B.S. Morphological thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Review. **Food Chemistry**, v. 81, p.219-231, 2003.

SLADE, L.; LEVINE, H. Beyond water activity - recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 30, p. 115-360, 1991.

SOUTHGATE, D. A.T. Trace elements: databases and food composition compilations. **Food Chemistry**, London, v. 43, p. 289-293, 1992.

SOUTO, R. P. **Segmentação de imagem multiespectral utilizando-se o atributo matiz**. São José dos Campos: INPE, 2000. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/engcart/PDASR/formcor.html>>. Acesso em: 04 abr. 2012.

SOUZA, L. B. de.; LEONEL, M. Efeito da concentração de fibra e parâmetros operacionais de extrusão sobre as propriedades de pasta de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Ciência e Tecnologia**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 686-692, jul./set. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v30n3/v30n3a19.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

SOUZA, T.S.C.; FLÓRIDA, F.A.; MELO, de.C.; SOARES JÚNIOR, M.S. Propriedades funcionais tecnológicas de farinhas pré-gelatinizadas de bagaço e fécula de mandioca. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pivic/trabalhos/THAYN000.PDF> Acesso em: 05.04.2012.

STELLA, R. A **importância dos sais minerais para o organismo**. Disponível em: <http://www1.uol.com.br/cyberdiet/colunas/030725_nut_saisminerais.htm>. Acesso em: 2 out. 2005.

SUKNARK, K.; PHILLIPS, R. D.; CHINNAN, M. S. Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch. **Food Research International**, v. 30, n. 8, p. 83-575, 1997.

STRAHILEVITZ, M. The effects of product type and donation magnitude on willingness to pay more for a charity-linked brand. **Journal of Consumer Psychology**, Los Angeles, v.8, n.3, p241-251, June 1999.

TAKEITI, C.Y. Estudo da influencia da transição vítrea sobre a instantaneização de maltodextrinas por processo de aglomeração úmida. Universidade Estadual de Campinas- Faculdade de Engenharia de alimentos, 2007.

TAKEUCHI, K. P.; SABADINI, E.; CUNHA, R. L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes durante o processo de absorção do leite. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 78-85, jan./mar. 2005.

TEBA, C. da. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. de. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 411-426, jul./set. 2009. Disponível em: <<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/1135/838>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

TEBA, C. da. S. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica**. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W.A. **Starches**: practical guides for the food industry. Minnesota: Eagan Press Handbook Series, 1999. 94 p.

THYMI, S. et al. Structural properties of extruded corn starch. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 68, p. 519-526, 2005.

VALIM, M. F. C. F. de. A; BATISTURI, J. P. Efeito da extrusão termoplástica no teor de lisina disponível da farinha desengordurada de grão-de-bico (*Cicer arietinum*, L.). **Revista**: arquivos latino americanos de nutricion, Caracas, v. 50, n. 3, p. set. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222000000300009&script=sci_arttext>. Acesso em: 10 jul. 2012.

VAN HECKE, E., ALLAF, K., BOUVIER, J. M. Texture and structure of crispy-puffed food products - part ii: Mechanical properties in puncture. **Journal of Texture Studies**, v.29, p.617-632. 1998.

VAN DE KAMER, J.H.; VAN GINKEL, L. Van. Rapid determination of crude fiber in Cereais. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.29, n.4, p239-251, Jul./Aug. 1952.

VAN, Z. D. J. ; SLOP, W. Survey of the present extrusion cooking techniques I the food and confectionery industry. Parte I, In: O'CONNOR, C. Extrusion technology for the food industry. London: **Elsevier Applied Science**. 1987. p1-21.

VÁSQUEZ, E. F. A.; HERRERA, A. D. P. N.; SANTIAGO, G. S. Interação do cobre, molibdênio e enxofre em ruminantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p.1101-1106, 2001.

WAITZBERG, D. L. **Nutrição oral, enteral e parenteral na prática clínica**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2002.

WANG, S. H.; CABRAL, L. C.; FERNANDES, S. M. Bebida à base de extrato hidrossolúvel de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 2, p. 73-77, 1997.

WANG, S. H. et al. Pellets de trigo e soja produzidos por extrusão. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 629-634, jul./set. 2008.

WANG, Y. J. et al.; Properties and structures of flours and starches from whole, broken, and yellowed rice kernels in a model study. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 3, p. 383-386, 2002.

WARD, A. B.; SHALLENBERGER, J. A.; WETZEL, D. L. Particle size distribution of wheat samples prepared with different grinders. **Cereal Chemistry**, v. 56, n. 5, p. 434-436, 1979.

WATSON, S. A. Structure and composition. In: WATSON, S. A. RAMSTAD, P. E. (Ed.). **Corn chemistry and technology**. 2nd ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1987. p. 53-82.

WEBB, P. A.; ORR, C. **Analytical methods in fine particle technology**. Norcross: Micromeritics Instrument Corporation, 1997. 301 p.

WEBB, P. A. **Volume and Density Determinations for Particle Technologists**, 2001b. Disponível em:
<http://www.micromeritics.com/pdf/app_articles/density_determinations.pdf>.
Acesso em: 22 Agosto 2011.

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**, vol.42, n.6, p.469-475. 1997.

WORD HEALTH ORGANIZATION. **Trace elements in human nutrition and health**. Geneva, 2003.

YAM, K. L, GOGOI, B. K. KARWE, M. V., WANG, S.S. Shear conversion of corn meal by reverse screw elements during twin-screw extrusion at low temperatures. **Journal of Food Science**, v.59, n.1, p.113-114. 1994.

ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves.**

Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. 1996. p. 1-5. (Comunicado Técnico).

Disponível em:

<http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/cot215.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2012.

ZHENG, X.; CHIANG, W. C.; WANG, S. S. Effect of shear energy on size reduction of starch granules in extrusion. **Starch/Stärke**, v. 47, n. 4, p. 146-51, 1995.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Ficha de avaliação do teste de aceitabilidade dos extrudados não expandidos diretos.

Ficha modelo empregada para a avaliação do teste de aceitação					
Nome: _____		Sexo: _____		Data: _____	
1- Você está recebendo amostras de biscoito (<i>pellets</i>), utilize a escala abaixo na ordem de aparência, sabor, textura e aspecto global. Prove as amostras da esquerda para a direita, lavando a boca com água, entre uma amostra e outra.					
9- gostei extremamente					
8- gostei muito					
7- gostei moderadamente					
6- gostei ligeiramente					
5- nem gostei nem desgostei					
4- desgostei ligeiramente					
3- desgostei moderadamente					
2- desgostei muito					
1- desgostei extremamente					
Nºs de amostras	Notas	aparência	Notas sabor	Notas textura	Notas aspecto global
_____	-----	-----	-----	-----	-----
--					
_____	-----	-----	-----	-----	-----
--					
_____	-----	-----	-----	-----	-----

_____	-----	-----	-----	-----	-----

_____	-----	-----	-----	-----

_____	-----	-----	-----	-----

2-Agora, utilizando a escala abaixo, avalie sua intenção de compra em relação ao produto.

	Amostras	intenção de compra
5- certamente compraria	_____	_____
4- provavelmente compraria	_____	_____
3- talvez compraria	_____	_____
2- provavelmente não compraria	_____	_____
1- certamente não compraria	_____	_____
	_____	_____
	_____	_____

APÊNDICE B

Tabela 1B Resultados obtidos da vazão (kg/h), IAA e ISA dos experimentos dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz e gergelim em grão, em função das variáveis umidade e gergelim em grão.

T		U	GG	VAZÃO		IAA		ISA	
		%	%	EGM	EGA	EGM	EGA	EGM	EGA
1	14	27	21,3	3,74	4,14	5,86	4,97	6,19	5,58
2	15	27	3,7	3,77	2,44	4,70	4,58	5,16	8,16
3	16	37	21,3	1,71	1,46	3,80	3,41	6,20	6,06
4	17	37	3,7	1,84	1,70	4,12	4,52	6,24	9,46
5	18	24,93	12,5	4,90	3,83	4,57	4,37	6,57	9,54
6	19	39,07	12,5	1,50	1,48	4,22	3,35	6,09	7,46
7	20	32	0,092	2,21	1,05	5,32	6,23	4,11	6,82
8	21	39,07	24,90	1,41	1,25	3,46	2,77	5,31	7,06
9	22	32	12,5	2,00	1,30	4,54	3,96	6,21	7,02
10	23	32	12,5	2,20	1,33	4,62	4,42	6,83	7,78
11	24	32	12,5	2,15	1,53	4,48	4,09	6,10	6,19
12	25	32	12,5	2,35	0,90	4,09	3,95	6,07	6,79
13	26	32	12,5	2,62	1,57	4,02	4,82	6,88	6,20

T = tratamentos; IAA = índice de absorção em água; ISA = índice de solubilidade em água; T = tratamentos; U = umidade; GG = gergelim em grão; EGM = extrudados de *grits* de milho e EGA= extrudados de *grits* de arroz

Tabela 2B Resultados obtidos da densidade absoluta (DABS) e porosidade (Po) dos experimentos dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz e gergelim em grão, em função das variáveis umidade e gergelim em grão.

T	U %	GG %	DABS g/mL			PO g/mL	
			EGM	EGA	EGM	EGA	
1	14	27	21,3	1,39	1,41	0,2952	0,2893
2	15	27	3,7	1,43	1,48	0,3054	0,3241
3	16	37	21,3	1,38	1,38	0,2733	0,2778
4	17	37	3,7	1,48	1,45	0,3247	0,3225
5	18	24,93	12,5	1,40	1,72	0,2844	0,3131
6	19	39,07	12,5	1,44	1,51	0,3007	0,3032
7	20	32	0,092	1,50	1,39	0,3297	0,3378
8	21	39,07	24,90	1,40	1,43	0,2823	0,2788
9	22	32	12,5	1,44	1,43	0,3067	0,3048
10	23	32	12,5	1,44	1,44	0,3053	0,3035
11	24	32	12,5	1,43	1,45	0,3011	0,3080
12	25	32	12,5	1,41	1,45	0,2911	0,3082
13	26	32	12,5	1,40	1,45	0,2844	0,3105

T = tratamentos; U = umidade; GG = gergelim em grão; DABS = densidade absoluta; PO = porosidade; EGM = extrudados com *grits* de milho e EGA = extrudados com *grits* de arroz

Tabela 3B Resultados obtidos da densidade antes da fritura (DAF), densidade pós-fritura (DPF) e índice de expansão volumétrica (IEV) dos experimentos dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz e gergelim em grão, em função das variáveis umidade e gergelim em grão.

T	U		G	DAF g/cm ³		DPF g/cm ³		IEV %	
	%			EGM	EGA	EGM	EGA	EGM	EGA
1	14	27	21,3	0,70	0,83	0,31	0,28	2,09	2,87
2	15	27	3,7	0,74	0,84	0,35	0,31	2,18	2,42
3	16	37	21,3	0,77	0,77	0,34	0,29	1,99	2,52
4	17	37	3,7	0,66	0,83	0,37	0,29	2,53	2,49
5	18	24,93	12,5	0,97	0,89	0,37	0,26	1,83	2,74
6	19	39,07	12,5	0,88	0,85	0,41	0,26	2,30	2,30
7	20	32	0,092	0,74	0,78	0,37	0,33	2,88	2,38
8	21	39,07	24,90	0,78	0,83	0,37	0,31	2,13	2,71
9	22	32	12,5	0,82	0,83	0,36	0,29	2,27	2,71
10	23	32	12,5	0,69	0,82	0,35	0,29	2,33	2,73
11	24	32	12,5	0,77	0,84	0,35	0,30	2,33	2,75
12	25	32	12,5	0,74	0,84	0,35	0,30	2,33	2,73
13	26	32	12,5	0,74	0,84	0,36	0,29	2,55	2,67

U = umidade; GG = gergelim em grão; DAF = densidade antes da fritura; DPF = densidade pós-fritura; IEV = índice de expansão volumétrica; EGM = extrudados de *grits* de milho e EGA = extrudados de *grits* de arroz.

Tabela 4B Resultados obtidos da força de compressão e força de ruptura exercidas pelo texturômetro nos experimentos dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz e gergelim em grão, em função das variáveis teor de umidade e teor de gergelim.

	T	U	GG	FC		FR	
				N		N	
		%	%	EGM	EGA	EGM	EGA
1	14	27	21,3	0,35	0,69	0,06	0,06
2	15	27	3,7	0,28	0,39	0,06	0,09
3	16	37	21,3	0,15	0,45	0,09	0,05
4	17	37	3,7	0,09	0,41	0,07	0,06
5	18	24,93	12,5	0,52	0,92	0,04	0,05
6	19	39,07	12,5	0,23	0,37	0,05	0,05
7	20	32	0,092	0,46	0,46	0,06	0,06
8	21	39,07	24,90	0,27	0,36	0,05	0,04
9	22	32	12,5	0,23	0,63	0,06	0,03
10	23	32	12,5	0,45	0,53	0,06	0,03
11	24	32	12,5	0,29	1,51	0,04	0,04
12	25	32	12,5	0,32	0,44	0,06	0,06
13	26	32	12,5	0,52	0,43	0,06	0,05

U = umidade; GG = gergelim em grão; FC = força de compressão (N); FR = força de ruptura (N); EGM = extrudados de *grits* de milho e EGA = extrudados de *grits* de arroz

Tabela 5B Resultados obtidos da força específica de ruptura e do trabalho de crocância exercidos pelo texturômetro nos experimentos dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz e gergelim em grão, em função das variáveis teor de umidade e teor de gergelim em grão.

	T	U	GG	FSR N		TC N.mm ⁻¹	
				EGM	EGA	EGM	EGA
		%	%				
1	14	27	21,3	15,93	0,06	5,54	11,15
2	15	27	3,7	16,34	0,09	4,51	4,16
3	16	37	21,3	10,58	0,05	1,64	9,28
4	17	37	3,7	13,99	0,06	1,28	7,16
5	18	24,93	12,5	24,53	0,05	12,65	17,96
6	19	39,07	12,5	19,07	0,05	4,29	6,97
7	20	32	0,092	16,72	0,06	7,69	8,21
8	21	39,07	24,90	18,49	0,04	5,00	8,16
9	22	32	12,5	16,28	0,04	3,71	19,29
10	23	32	12,5	17,93	0,03	8,04	15,48
11	24	32	12,5	26,69	0,03	7,56	14,21
12	25	32	12,5	16,38	0,06	5,30	7,18
13	26	32	12,5	15,93	0,05	8,99	9,16

= tratamentos; FSR= força específica de ruptura (N); TC= trabalho de crocância (Nmm⁻¹); EGM= extrudados de *grits* de milho e EGA= extrudados de *grits* de arroz

Tabela 6B Resultados obtidos da cor (L*) e croma a* dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz e gergelim, em função das variáveis teor de umidade e teor de gergelim em grão.

T		U	GG	L *		Croma a*	
				EGM	EGA	EGM	EGA
1	14	27	21,3	54,86	52,63	9,85	4,97
2	15	27	3,7	55,10	61,67	9,22	1,65
3	16	37	21,3	55,97	59,32	6,07	3,78
4	17	37	3,7	64,83	68,22	3,68	0,68
5	18	24,93	12,5	53,75	57,00	8,16	3,43
6	19	39,07	12,5	53,41	61,21	4,49	2,91
7	20	32	0,092	62,25	75,00	3,14	1,17
8	21	39,07	24,90	51,15	57,04	5,67	4,26
9	22	32	12,5	53,89	62,14	6,57	3,26
10	23	32	12,5	56,89	64,17	6,85	2,76
11	24	32	12,5	57,75	60,50	6,76	3,63
12	25	32	12,5	57,31	62,38	7,00	2,56
13	26	32	12,5	57,42	64,34	7,46	2,20

T = Tratamentos; U = umidade; GG = gergelim em grão; L*= luminosidade; cromaticidade a*; EGM = extrudado de *grits* de milho e EGA= extrudado de *grits* de arroz

Tabela 7B Resultados obtidos do croma b* e da diferença de cor (ΔE) dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz e gergelim, em função das variáveis teor de umidade e teor de gergelim em grão.

T	U	GG	Croma b*		ΔE		
			EGM	EGA	EGM	EGA	
1	14	27	21,3	36,35	16,80	74,83	73,52
2	15	27	3,7	35,22	16,79	75,33	84,39
3	16	37	21,3	34,59	20,74	80,05	79,67
4	17	37	3,7	47,75	16,80	85,59	87,68
5	18	24,93	12,5	34,82	18,54	76,81	79,52
6	19	39,07	12,5	32,51	19,69	82,14	81,59
7	20	32	0,092	46,01	14,79	86,09	85,48
8	21	39,07	24,90	27,92	20,00	78,52	77,97
9	22	32	12,5	32,79	20,35	78,67	80,89
10	23	32	12,5	37,36	20,94	79,61	82,49
11	24	32	12,5	38,95	22,27	80,15	80,74
12	25	32	12,5	37,51	21,97	79,43	83,35
13	26	32	12,5	38,51	20,78	79,04	83,95

U = umidade; GG = gergelim em grão; b* = cromaticidade b*; ΔE = variação de cor; EGM = extrudados de *grits* de milho; EGA = extrudados de *grits* de arroz

Tabela 8B Resultados obtidos da viscosidade da farinha dos *pellets* elaborados com *grits* de milho e gergelim, em função das variáveis teor de umidade e teor de gergelim em grão.

T	U	GG	Viscosidade a 25°C (cP)		Viscosidade 95°C (cP)		
			EGM	EGA	EGM	EGA	
	%	%					
1	14	27	21,3	49,50	82,00	256,50	293,50
2	15	27	3,7	84,50	109,00	250,00	285,00
3	16	37	21,3	79,00	75,00	18,50	221,00
4	17	37	3,7	85,50	92,00	197,00	326,50
5	18	24,93	12,5	96,00	86,00	266,00	467,00
6	19	39,07	12,5	82,00	75,50	15,50	285,50
7	20	32	0,092	89,50	116,50	207,50	251,00
8	21	39,07	24,90	86,50	72,00	8,50	147,50
9	22	32	12,5	89,50	72,00	49,50	313,50
10	23	32	12,5	82,00	96,00	198,50	321,50
11	24	32	12,5	92,00	77,50	191,00	378,00
12	25	32	12,5	81,00	72,50	107,50	225,50
13	26	32	12,5	78,50	84,50	152,50	266,50

T = tratamentos; U = umidade; GG = gergelim em grão; EGM = extrudados de *grits* de milho e EGA = extrudados de *grits* de arroz

Tabela 9B Resultados obtidos do *breakdown* e *setback* da farinha dos *pellets* elaborados com *grits* de milho e *grits* de arroz com gergelim em grão, em função das variáveis teor de umidade e teor de gergelim em grão.

T	U	GG	<i>Breakdown</i> (cP)		<i>Setback</i> (cP)		
			EGM	EGA	EGM	EGA	
	%	%					
1	14	27	21,3	163,50	182,00	341,00	583,00
2	15	27	3,7	147,50	192,00	410,00	678,00
3	16	37	21,3	31,00	32,00	117,00	364,50
4	17	37	3,7	63,50	89,50	339,50	545,50
5	18	24,93	12,5	165,00	350,00	526,00	701,00
6	19	39,07	12,5	13,50	33,50	143,00	636,50
7	20	32	0,092	24,50	175,00	370,00	205,00
8	21	39,07	24,90	2,50	98,50	78,00	403,50
9	22	32	12,5	24,00	42,50	265,50	494,50
10	23	32	12,5	15,50	143,00	303,50	315,50
11	24	32	12,5	1,00	135,50	327,00	461,50
12	25	32	12,5	69,50	43,50	166,00	354,50
13	26	32	12,5	2,50	184,00	233,00	529,00

T = tratamentos; U = umidade; GG = gergelim em grão; EGM = extrudados de *grits* de milho e EGA= extrudados de *grits* de arroz

Tabela 10B Dados experimentais da vazão (kg/h), ISA e IAA dos *pellets* elaborados com *grits* de milho e *grits de* arroz com torta de gergelim desengordurada (TGD), em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

T	U	TGD	Vazão (kg/h)		ISA		IAA		
			EGM	EGA	EGM	EGA	EGM	EGA	
27	40	27	29,87	2,33	1,91	4,79	2,82	4,07	4,61
28	41	27	5,13	2,42	1,92	4,73	5,48	3,82	5,71
29	42	37	29,87	1,72	1,68	4,51	3,71	2,64	3,11
30	43	37	5,13	1,41	0,74	3,56	2,16	3,30	3,58
31	44	24,93	17,5	3,10	2,35	6,05	3,33	4,78	4,34
32	45	39,07	17,5	1,10	0,50	4,47	2,92	2,85	3,37
33	46	32	0,01	4,93	1,00	6,60	4,96	5,43	5,21
34	47	39,07	34,99	1,88	1,23	5,05	2,96	3,63	3,17
35	48	32	17,5	2,37	2,30	5,31	3,20	4,46	3,97
36	49	32	17,5	2,10	2,30	5,30	2,91	3,83	3,15
37	50	32	17,5	1,34	2,20	5,67	2,83	4,61	3,98
38	51	32	17,5	1,30	2,00	5,47	2,92	3,88	3,53
39	52	32	17,5	2,06	2,20	5,20	2,96	3,71	3,65

T = tratamentos; U = umidade; TGD = torta de gergelim desengordurada; ISA = índice de solubilidade em água; IAA = índice de absorção em água; EGM = extrudados de *grits* de milho; EGA= extrudados de *grits* de arroz

Tabela 11B Dados experimentais da DABS, PO e DAF dos *pellets* elaborados com *grits* de milho e *grits de arroz* e torta de gergelim desengordurada (TGD), em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

T	U	TGD	DABS		PO		DAF		
			g/mL		g/mL		g/cm ³		
	%	%	EGM	EGA	EGM	EGA	EGM	EGA	
27	40	27	29,87	1,44	1,45	0,31	0,31245	0,73	0,77
28	41	27	5,13	1,45	1,48	0,31	0,32595	0,73	0,79
29	42	37	29,87	1,40	1,45	0,28	0,31030	0,74	0,78
30	43	37	5,13	1,49	1,49	0,33	0,32890	0,82	0,79
31	44	24,93	17,5	1,22	1,47	0,31	0,31910	0,70	0,77
32	45	39,07	17,5	1,29	1,47	0,30	0,32075	0,68	0,78
33	46	32	0,01	1,48	1,49	0,33	0,32890	0,76	0,80
34	47	39,07	34,99	1,44	1,44	0,30	0,31205	0,81	0,73
35	48	32	17,5	1,47	1,47	0,38	0,31645	0,74	0,80
36	49	32	17,5	1,48	1,47	0,32	0,32135	0,74	0,82
37	50	32	17,5	1,51	1,47	0,32	0,32135	0,74	0,82
38	51	32	17,5	1,49	1,47	0,32	0,32145	0,73	0,81
39	52	32	17,5	1,45	1,47	0,31	0,32067	0,71	0,83

U = umidade; TGD = torta de gergelim desengordurada; DABS = densidade absoluta; PO = prosidade; DAF = densidade antes da fritura; EGM = extrudados de *grits* de milho e EGA= extrudados de *grits* de arroz

Tabela 12B Resultados obtidos da densidade pós-fritura (DPF) e do índice de expansão volumétrico (IEV), dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz e adição de TGD, em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

T	U	TGD	DPF		IEV		
			g/mL		%		
	%	%	EGM	EGA	EGM	EGA	
27	40	27	29,87	0,66	0,51	1,12	1,73
28	41	27	5,13	0,54	0,29	1,37	3,33
29	42	37	29,87	1,03	0,54	0,71	1,67
30	43	37	5,13	0,31	0,50	2,67	1,70
31	44	24,93	17,5	0,58	0,51	1,25	1,51
32	45	39,07	17,5	0,82	0,28	1,03	1,33
33	46	32	0,01	0,31	0,46	2,42	2,71
34	47	39,07	34,99	0,46	0,84	1,88	0,92
35	48	32	17,5	0,44	0,52	1,88	1,56
36	49	32	17,5	0,45	0,51	1,64	1,78
37	50	32	17,5	0,45	0,51	1,56	1,53
38	51	32	17,5	0,46	0,54	1,67	1,68
39	52	32	17,5	0,46	0,51	1,53	1,60

T = tratamento; U = umidade; TGD = torta de gergelim desengordurada; DPF = densidade pós-fritura; IEV = índice de expansão volumétrica; EGM = extrudado de *grits* de milho e EGA = extrudado de *grits* de arroz

Tabela 13B Resultados obtidos da força de compressão e frequência de ruptura dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz com torta de gergelim desengordurada, em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

	T	U	TGD	FC		FR	
				N		N	
		%	%	EGM	EGA	EGM	EGA
27	40	27	29,87	1,54	0,14	26,12	0,06
28	41	27	5,13	2,12	0,45	32,57	0,06
29	42	37	29,87	2,17	0,24	36,46	0,06
30	43	37	5,13	1,00	0,17	20,38	0,09
31	44	24,93	17,5	1,10	0,27	21,57	0,05
32	45	39,07	17,5	1,28	0,19	23,10	0,06
33	46	32	0,01	7,26	0,28	60,78	0,06
34	47	39,07	34,99	2,49	0,14	34,73	0,01
35	48	32	17,5	2,41	0,26	34,35	0,01
36	49	32	17,5	1,61	0,13	30,36	0,02
37	50	32	17,5	3,06	0,25	36,77	0,04
38	51	32	17,5	1,30	0,13	23,79	0,07
39	52	32	17,5	1,20	0,21	20,78	0,04

T = tratamento; U = umidade; TGD = torta de gergelim desengordurada; FC = força de compressão (N); FR = força de ruptura (N); EGM = extrudado de *grits* de milho; EGA= extrudado de *grits* de arroz

Tabela 14B Resultados obtidos da força específica de ruptura e trabalho de crocância dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz com adição de torta de gergelim desengordurada, em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

T	Umidade	TGD	FSR		TC		
			N	N	N.mm ⁻¹	N.mm ⁻¹	
	%	%	EGM	EGA	EGM	EGA	
27	40	27	29,87	0,04	0,06	0,06	2,29
28	41	27	5,13	0,03	0,06	0,07	7,13
29	42	37	29,87	0,03	0,06	0,06	3,80
30	43	37	5,13	0,05	0,09	0,05	1,83
31	44	24,93	17,5	0,05	0,05	0,05	5,33
32	45	39,07	17,5	0,04	0,06	0,06	2,99
33	46	32	0,01	0,02	0,06	0,12	4,94
34	47	39,07	34,99	0,03	0,01	0,07	17,09
35	48	32	17,5	0,03	0,01	0,07	42,53
36	49	32	17,5	0,03	0,02	0,05	7,96
37	50	32	17,5	0,03	0,04	0,08	7,15
38	51	32	17,5	0,04	0,07	0,05	2,00
39	52	32	17,5	0,05	0,04	0,06	5,04

TGD = torta de gergelim desengordurada; FSR = força específica de ruptura; TC = trabalho de crocância; EGM = extrudado de *grits* de milho e EGA = extrudado de *grits* de arroz

Tabela 15B Resultados obtidos da luminosidade (L*), cromatidade a* dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz com adição de torta de gergelim desengordurada, em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

T	U	TGD	L*		Cromatidade a*		
			EGM	EGA	EGM	EGA	
27	40	27	29,87	23,70	43,36	7,87	7,01
28	41	27	5,13	57,27	59,71	7,93	3,91
29	42	37	29,87	46,38	40,61	6,22	5,80
30	43	37	5,13	60,00	57,12	3,32	2,82
31	44	24,93	17,5	50,77	51,57	9,00	7,24
32	45	39,07	17,5	52,73	45,57	6,00	5,67
33	46	32	0,01	56,59	74,61	4,90	0,17
34	47	39,07	34,99	46,14	39,13	10,01	5,15
35	48	32	17,5	46,70	42,83	9,28	6,18
36	49	32	17,5	53,53	43,17	9,39	6,15
37	50	32	17,5	47,03	43,89	8,48	6,11
38	51	32	17,5	51,24	45,53	9,13	6,69
39	52	32	17,5	46,70	44,51	8,11	6,72

T = tratamentos; U = umidade; TGD = torta de gergelim desengordurada; L* = luminosidade; cromatidade a*; EGM = extrudado de *grits* de milho e EGA= extrudado de *grits* de arroz

Tabela 16B Resultados obtidos da cromaticidade b* e diferença de cor dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz com adição de torta de gergelim desengordurada, em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

T	U	TGD	Croma b*		ΔE		
			EGM	EGA	EGM	EGA	
27	40	27	29,87	22,80	11,94	70,96	59,58
28	41	27	5,13	43,00	22,14	79,55	79,98
29	42	37	29,87	22,76	7,46	74,71	52,14
30	43	37	5,13	42,43	15,89	85,52	80,00
31	44	24,93	17,5	29,14	19,40	72,84	70,00
32	45	39,07	17,5	31,68	13,00	79,27	66,43
33	46	32	0,01	44,74	15,98	83,75	89,39
34	47	39,07	34,99	21,01	6,29	66,17	50,69
35	48	32	17,5	25,20	11,29	69,78	61,30
36	49	32	17,5	22,30	11,32	67,16	61,40
37	50	32	17,5	24,14	11,83	65,68	62,68
38	51	32	17,5	20,20	13,81	65,68	64,15
39	52	32	17,5	19,91	13,14	67,88	62,91

T = tratamento; U = umidade; TGD = torta de gergelim desengordurada; cromaticidade b*; ΔE = diferença de cor; EGM = extrudado de *grits* de milho e EGA= extrudado de *grits* de arroz

Tabela 17B Resultados obtidos da viscosidade das farinhas dos extrudados elaborados com *grits* de milho; *grits* de arroz com adição de torta de gergelim desengordurada, em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

T	U	TGD	Viscosidade a 25°C (cP)			Viscosidade a 95°C (cP)	
			EGM	EGA	EGM	EGA	
27	40	27	29,87	84,00	69,00	54,00	32,00
28	41	27	5,13	90,50	114,00	142,50	118,50
29	42	37	29,87	72,50	75,00	31,00	13,00
30	43	37	5,13	77,50	72,50	225,50	267,50
31	44	24,93	17,5	91,00	77,00	105,50	145,00
32	45	39,07	17,5	78,50	81,50	39,00	212,00
33	46	32	0,01	239,50	73,50	150,50	279,00
34	47	39,07	34,99	83,00	73,50	37,50	7,50
35	48	32	17,5	91,00	73,50	93,00	80,50
36	49	32	17,5	77,50	72,50	79,00	77,00
37	50	32	17,5	89,00	72,50	100,50	104,00
38	51	32	17,5	80,00	72,50	117,00	52,50
39	52	32	17,5	77,00	70,50	102,50	95,50

T = tratamento; U = umidade; TGD = torta de gergelim desengordurada; EGM = extrudado com *grits* de milho e EGA = extrudado com *grits* de arroz

Tabela 18B Resultados obtidos do *breakdown* e *setback* dos *pellets* elaborados com *grits* de milho, *grits* de arroz com adição de torta de gergelim desengordurada, em função das variáveis teor de umidade e teor de torta de gergelim desengordurada.

	T	U	TGD	Breakdown (cP)		Setback (cP)	
				EGM	EGA	EGM	EGA
		%	%				
27	40	27	29,87	24,00	19,00	80,00	72,50
28	41	27	5,13	65,50	42,50	254,50	346,00
29	42	37	29,87	24,00	24,50	22,00	47,50
30	43	37	5,13	81,50	99,50	224,00	266,50
31	44	24,93	17,50	48,50	71,50	168,50	164,00
32	45	39,07	17,50	17,50	35,00	65,50	214,00
33	46	32	0,01	74,00	5,50	306,50	325,00
34	47	39,07	34,99	17,50	10,00	17,50	12,00
35	48	32	17,50	50,00	0,50	140,00	123,00
36	49	32	17,50	45,00	28,00	162,00	109,50
37	50	32	17,50	75,50	6,00	143,00	119,00
38	51	32	17,50	82,50	33,00	151,00	104,00
39	52	32	17,50	25,50	15,50	151,00	129,00

T = tratamento; U = umidade; TGD = torta de gergelim desengordurada; EGM = extrudado com *grits* de milho e EGA= extrudado com *grits* de arroz

APÊNDICE C

Figuras da viscosidade de pasta dos extrudados elaborados com *grits* de milho e gergelim em grão (GM+GG)

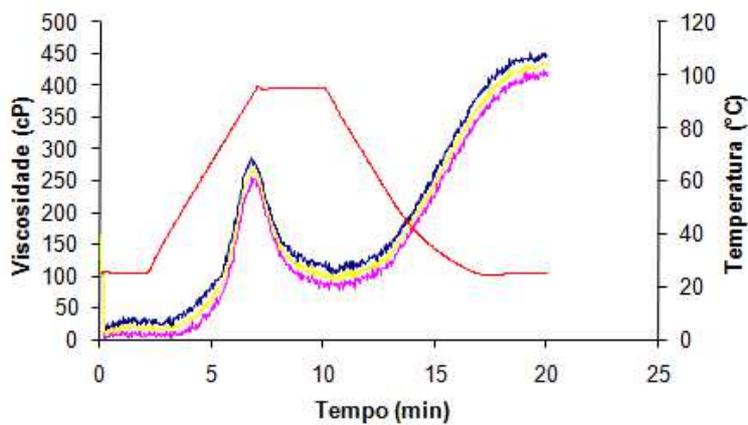


Figura 1C contendo 27% de umidade e 21,30% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

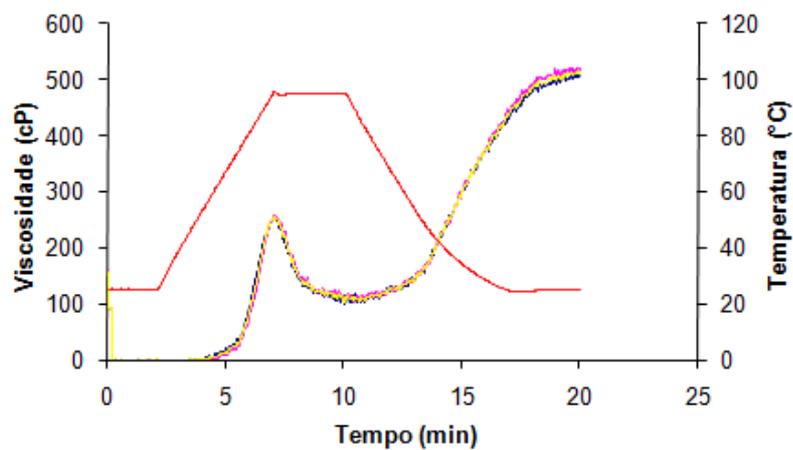


Figura 2C Contendo 27% de umidade e 3,7% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta.

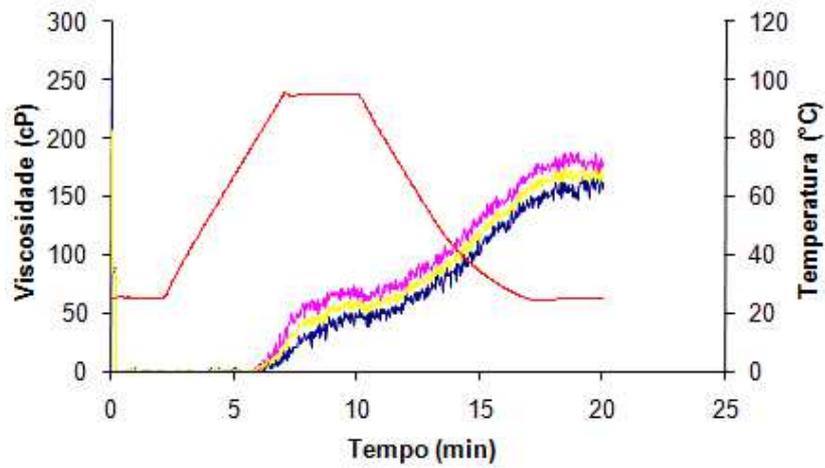


Figura 3C Contendo 37% de umidade e 21,3% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

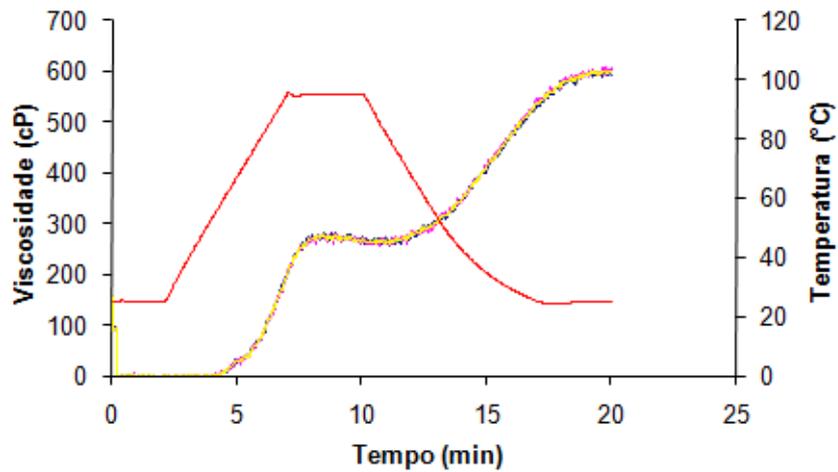


Figura 4C Contendo 37% de umidade e 3,7% de gergelim em grão.
Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento

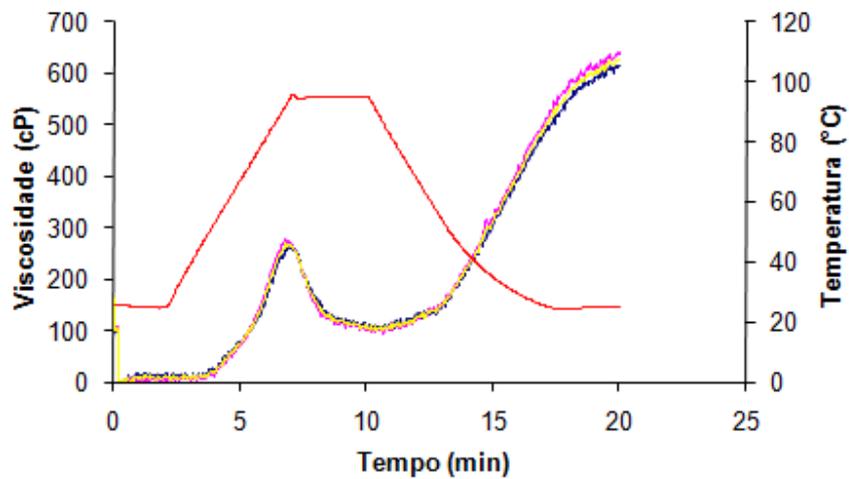


Figura 5C Contendo 24,93% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

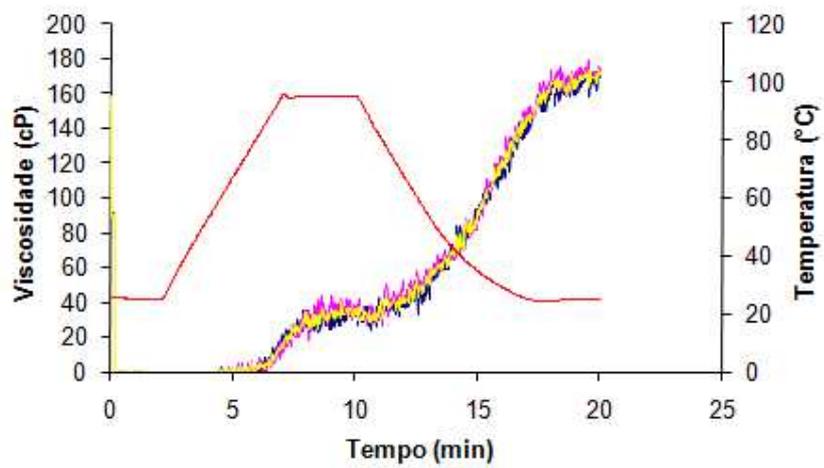


Figura 6C Contendo 39,07% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

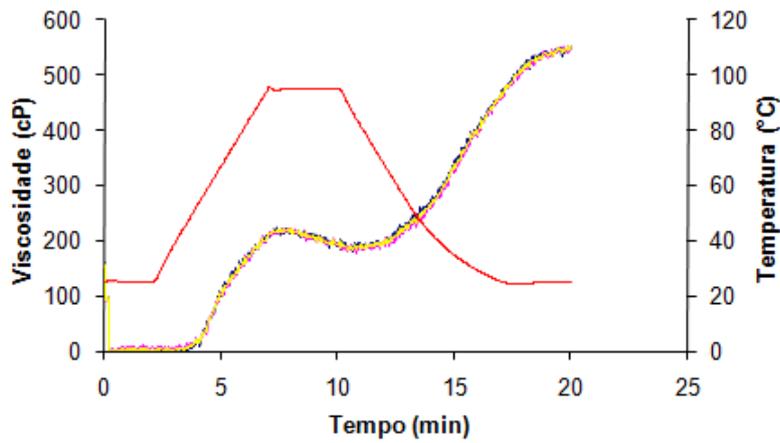


Figura 7C Contendo 32% de umidade e 0,092% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento

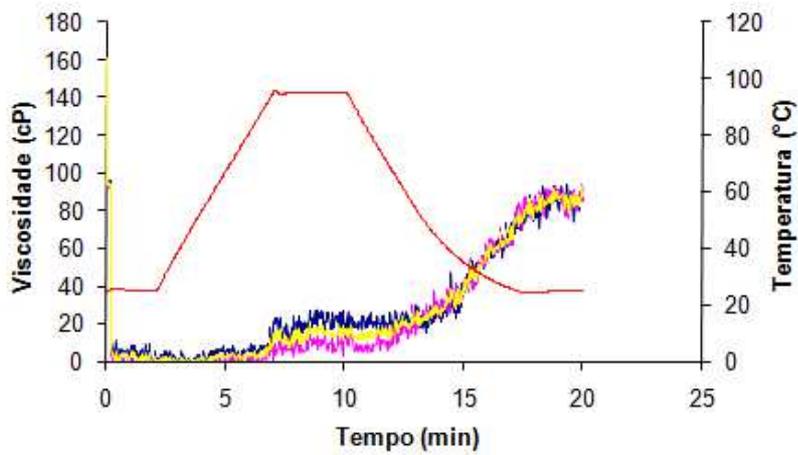


Figura 8C Contendo 39,07% de umidade e 24,90% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

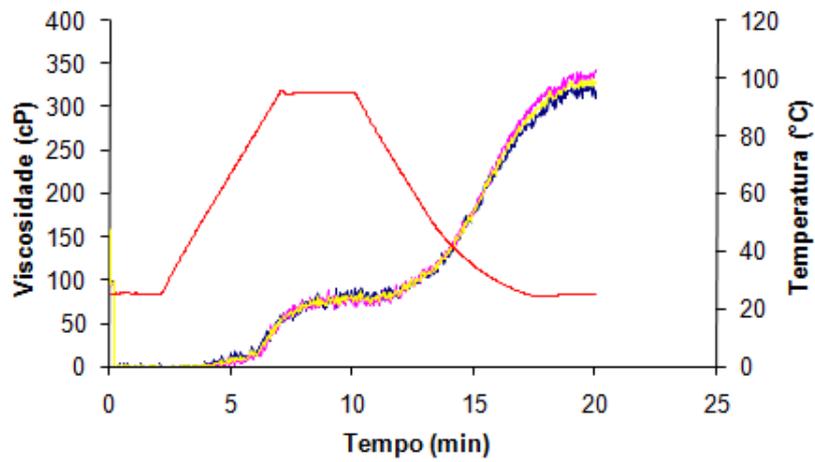


Figura 9C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

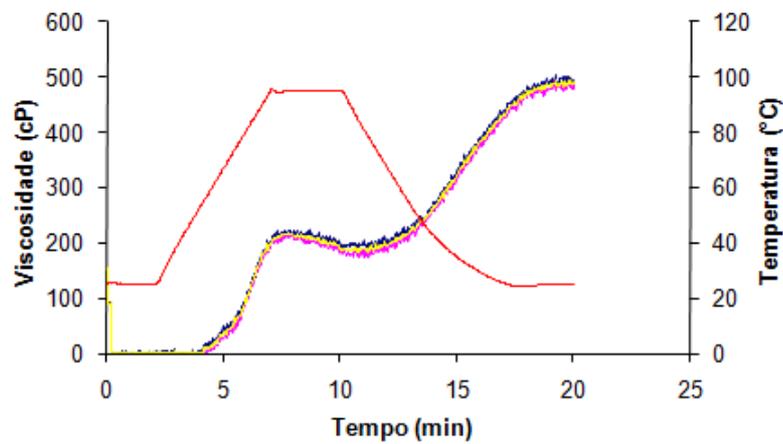


Figura 10 C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

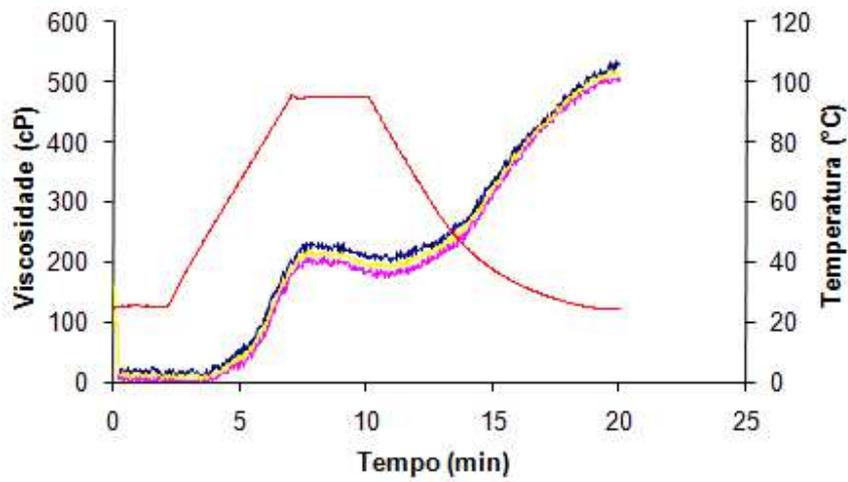


Figura 11C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

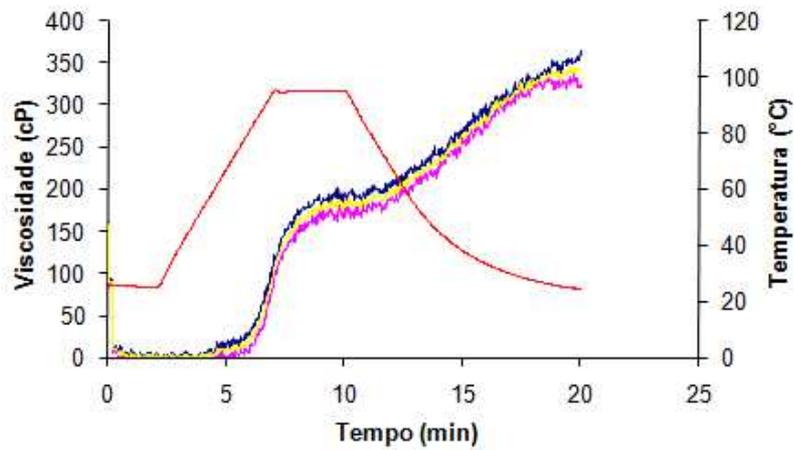


Figura 12C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

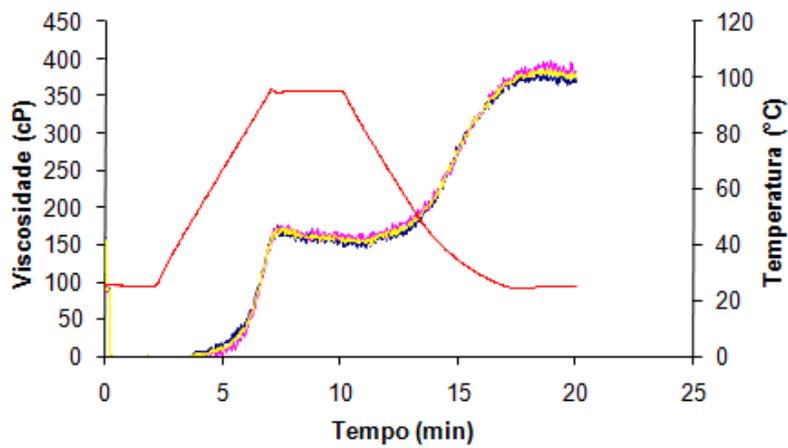


Figura 13C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

Figuras da viscosidade de pasta dos extrudados elaborados com grits de arroz e gergelim em grão (GA+GG)

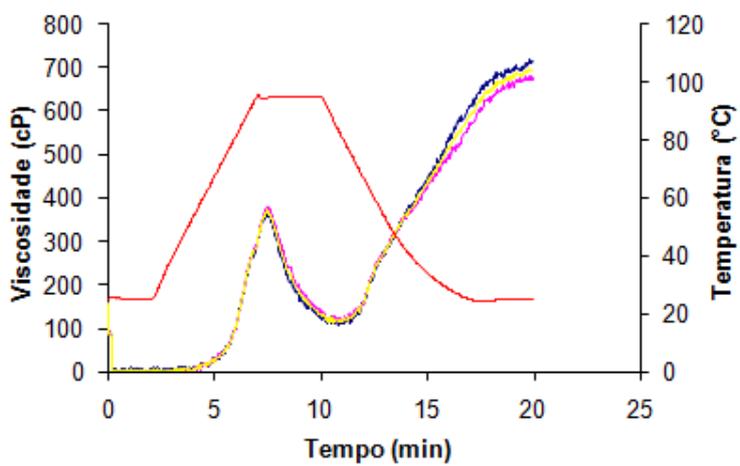


Figura 14C Contendo 27% de umidade e 21,30% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento

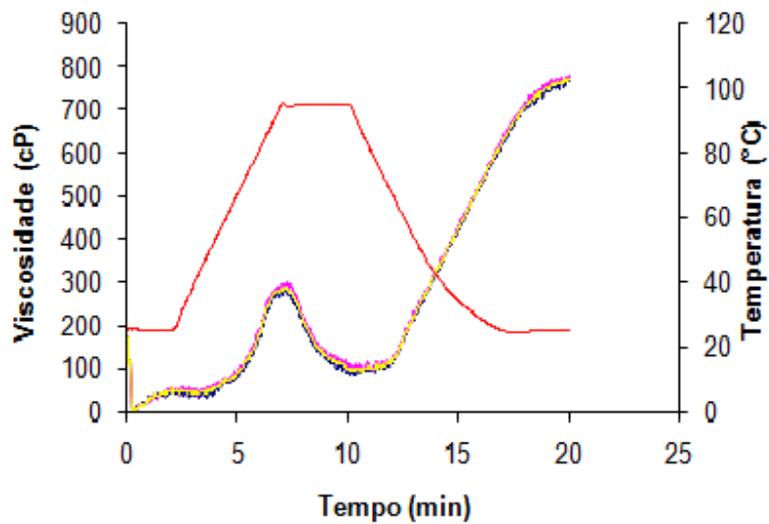


Figura 15C Contendo 27% de umidade e 3,7% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento

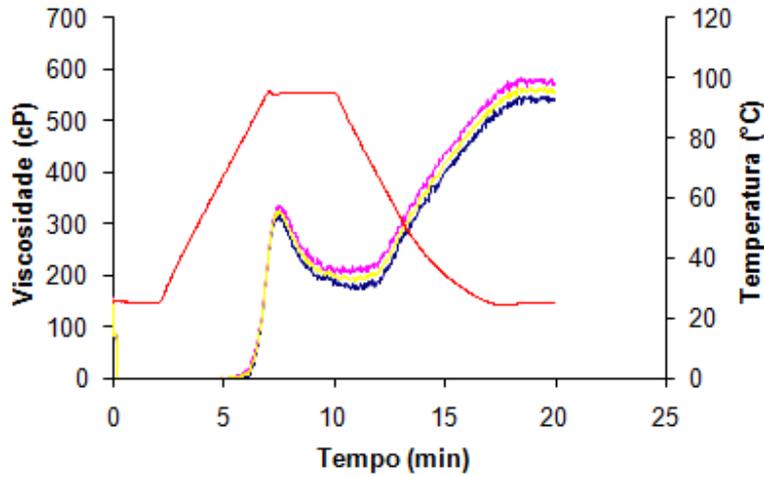


Figura 16C Contendo 37% de umidade e 21,3% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

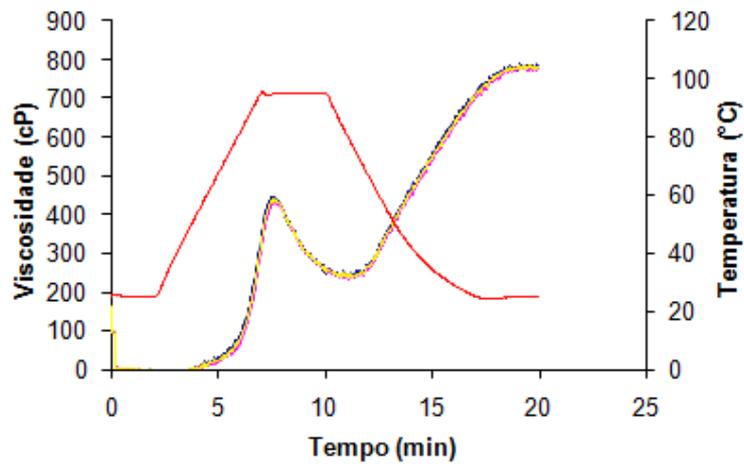


Figura 17C Contendo 37% de umidade e 3,7% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento

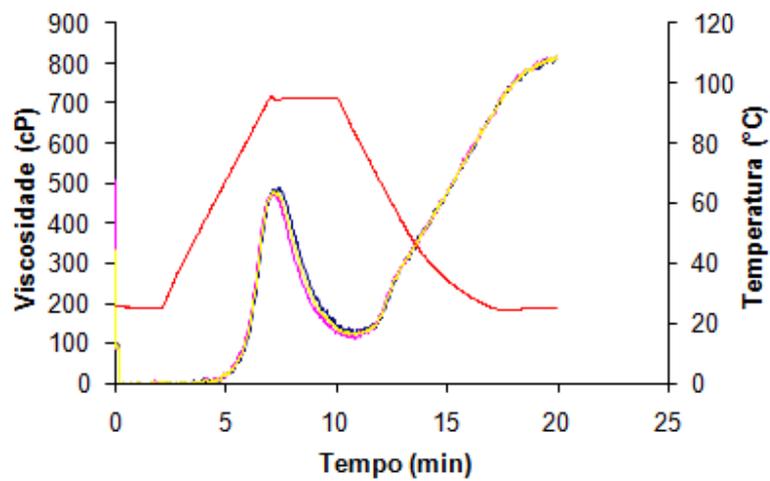


Figura 18C Contendo 24,93% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

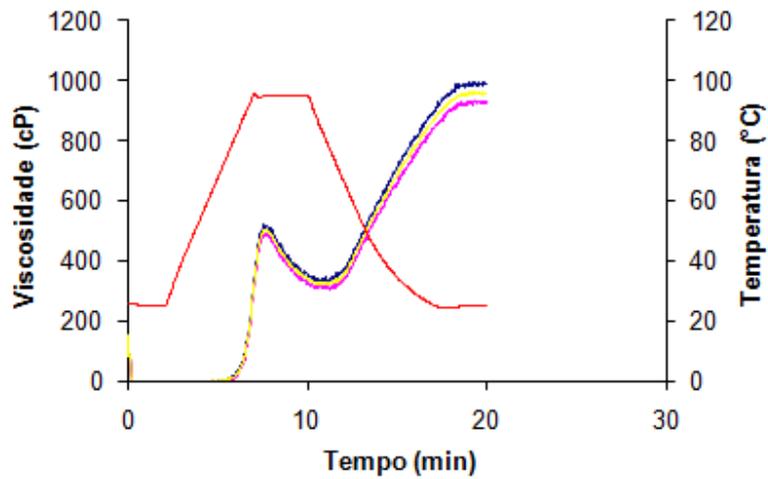


Figura 19 C Contendo 39,07% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

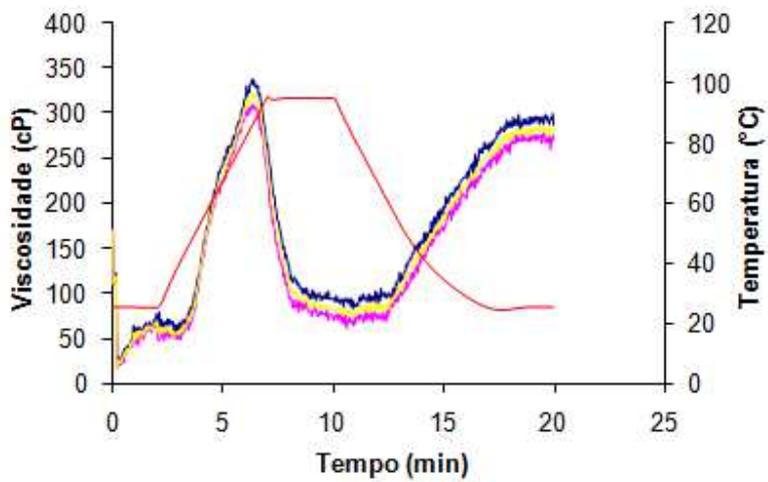


Figura 20C Contendo 32% de umidade e 0,092% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

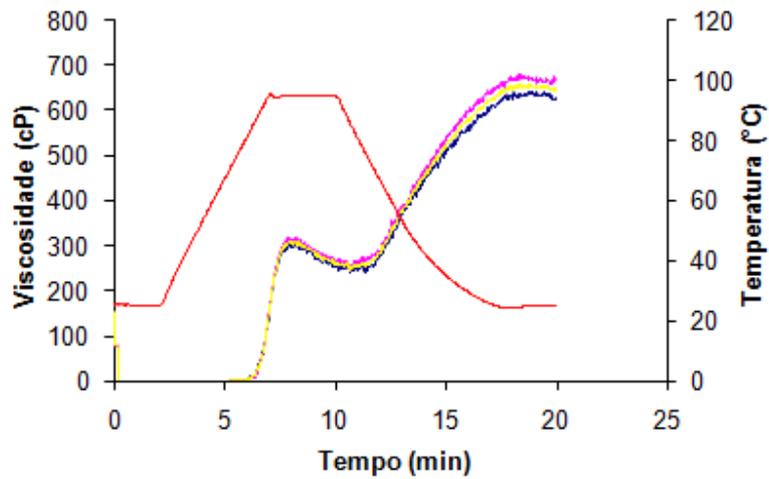


Figura 21C Contendo 39,07% de umidade e 24,90% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

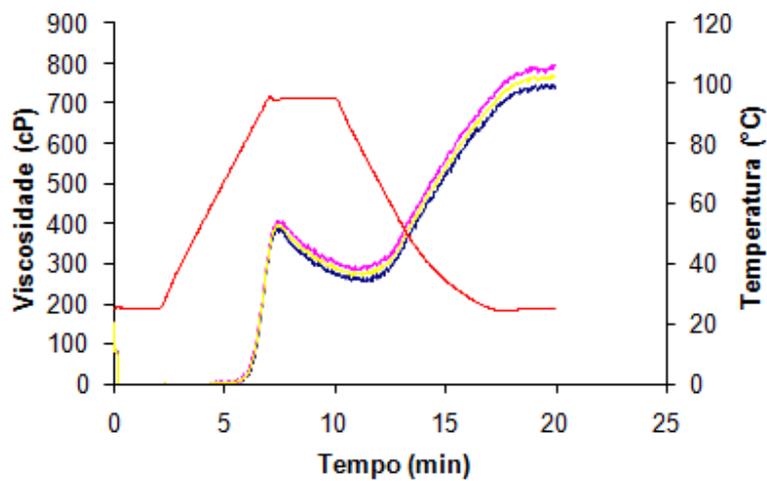


Figura 22C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

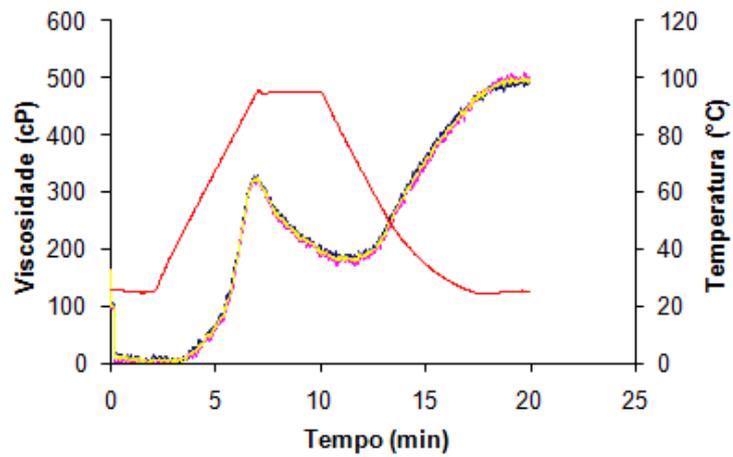


Figura 23C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

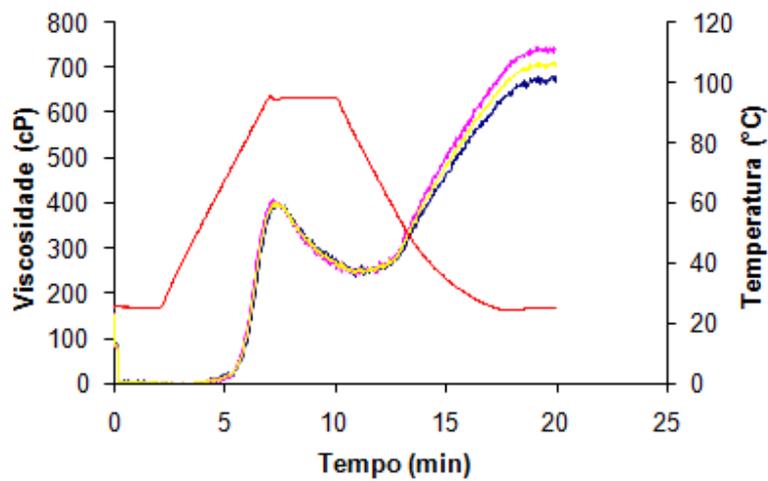


Figura 24C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

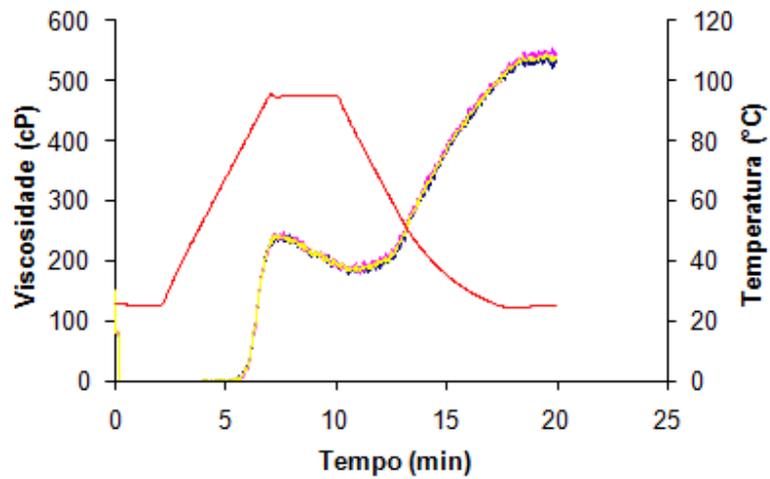


Figura 25C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

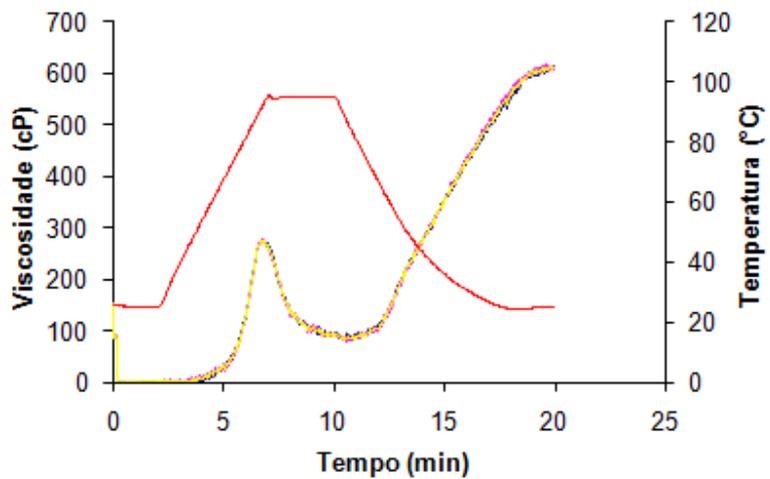


Figura 26 C Contendo 32% de umidade e 12,50% de gergelim em grão
Perfil da curva de viscosidade de pasta

Figuras da viscosidade de pasta dos extrudados elaborados com grits de milho e torta de gergelim desengordurada (GM+TGD)

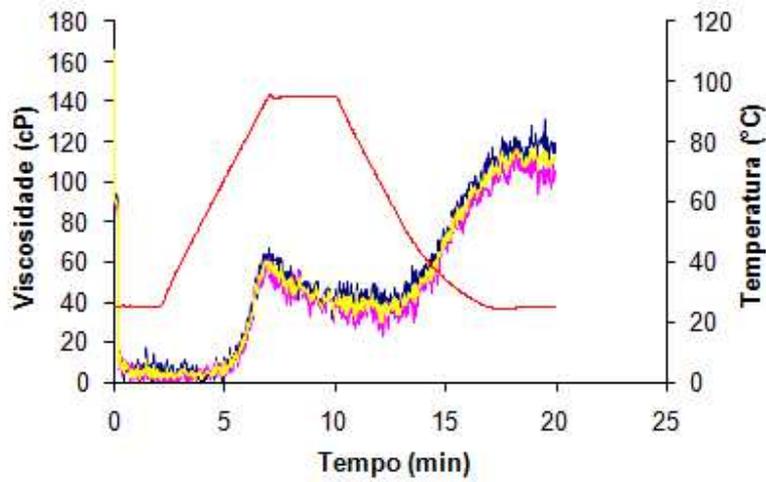


Figura 27C Contendo 27% de umidade e 29,87% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

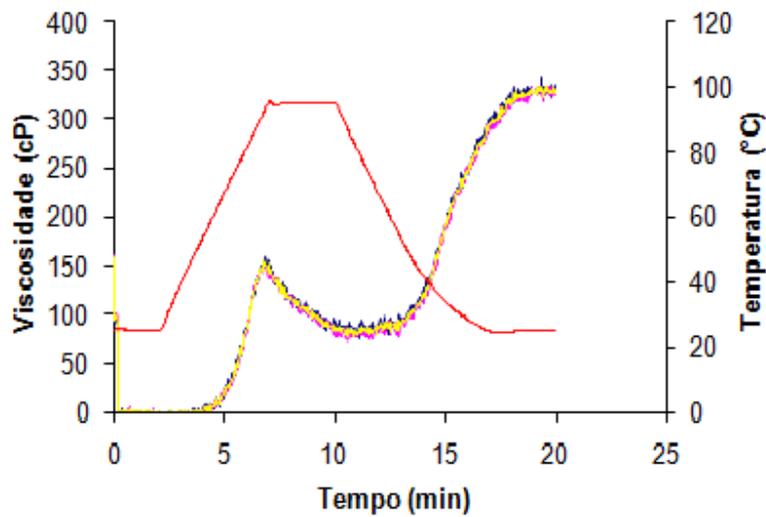


Figura 28C Contendo 27% de umidade e 5,13% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

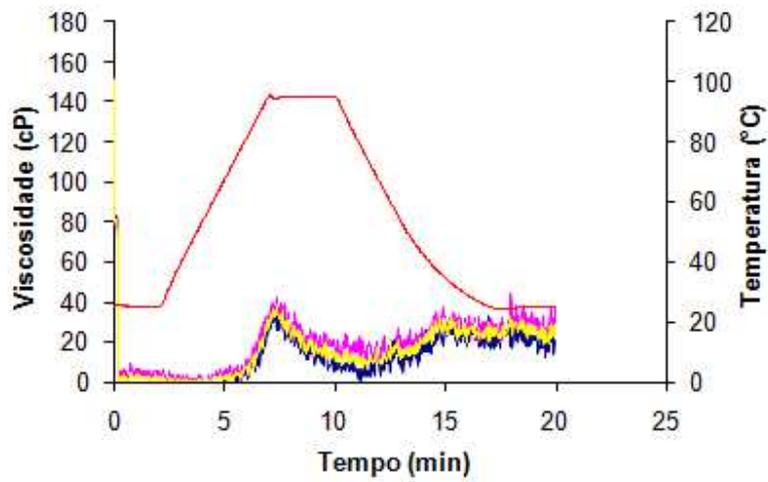


Figura 29C Contendo 37% de umidade e 29,87% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

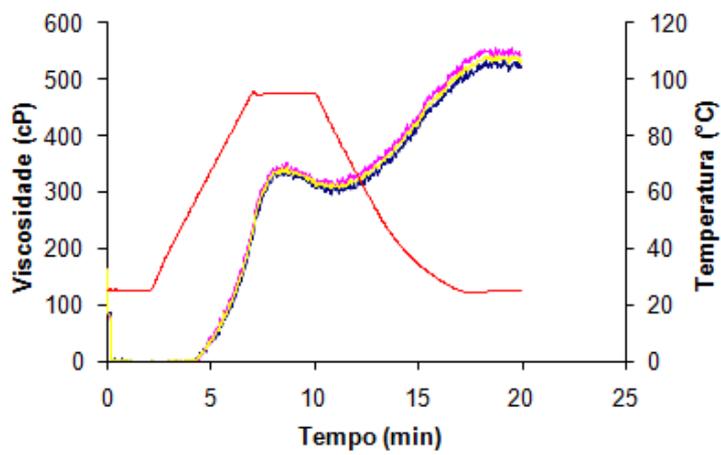


Figura 30C Contendo 37% de umidade 5,13% de TGD.
Perfil da curva de viscosidade de pasta

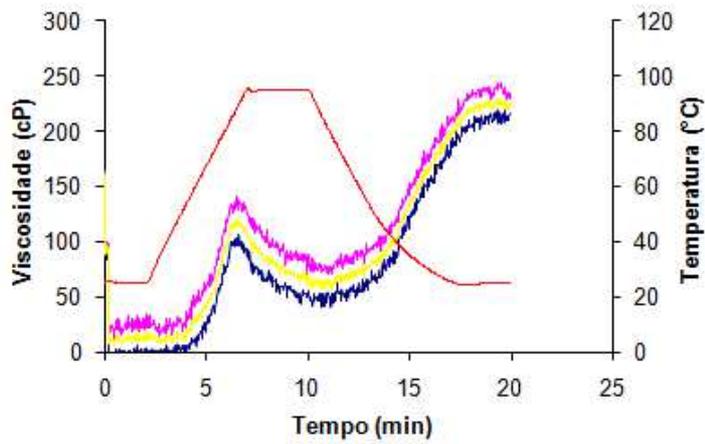


Figura 31C Contendo 24,93% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

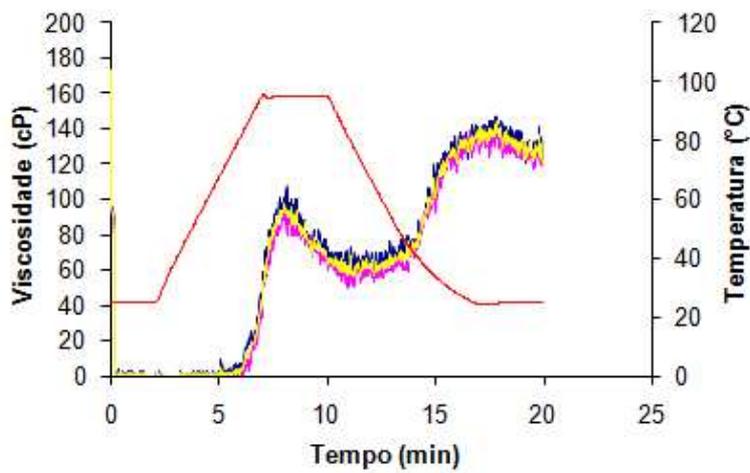


Figura 32C Contendo 39,07% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

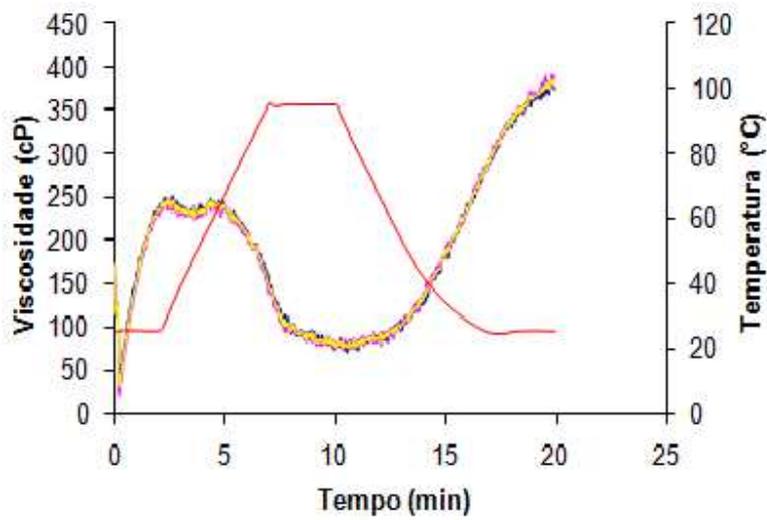


Figura 33C Contendo 32% de umidade 0,01% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

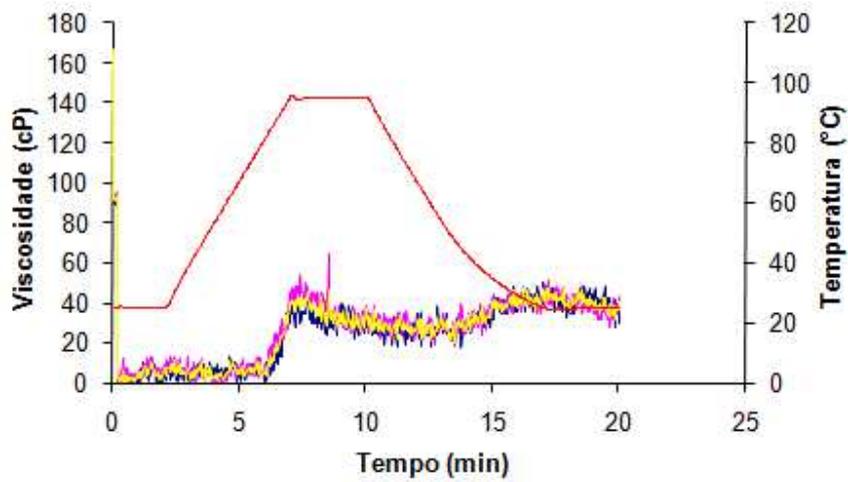


Figura 34C Contendo 39,07% de umidade 34,99% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

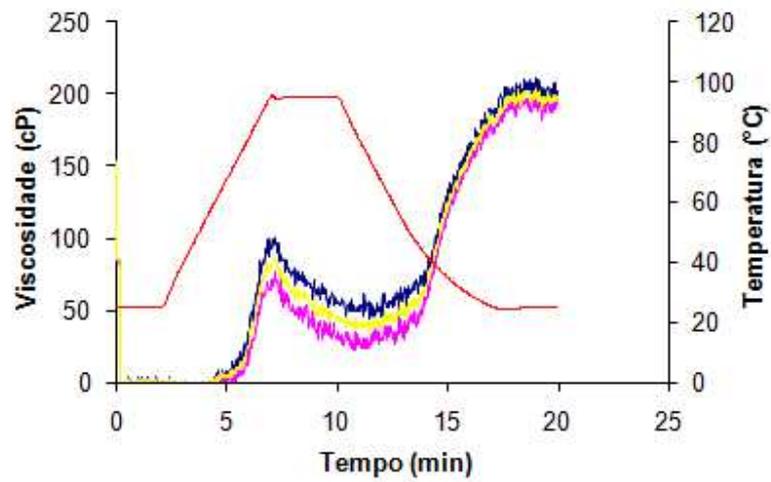


Figura 35C Contendo 39,07% de umidade 34,99% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

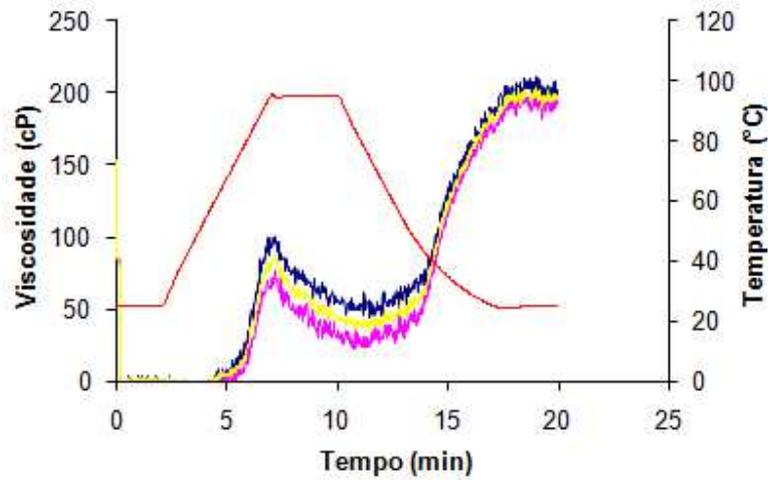


Figura 36C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

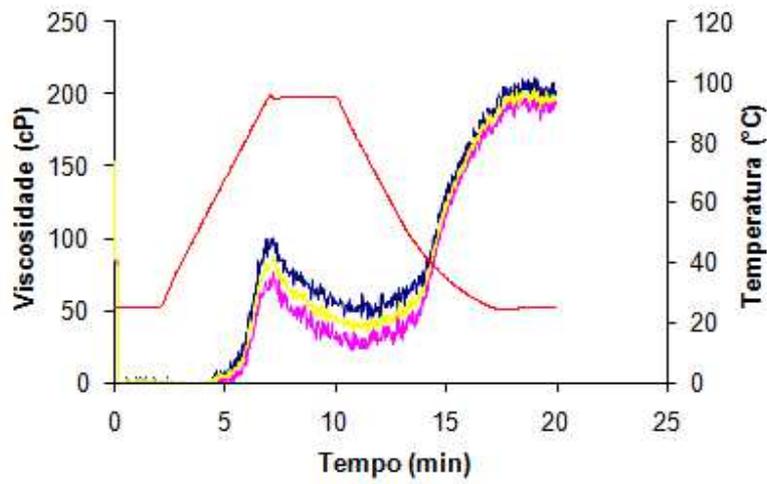


Figura 37C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

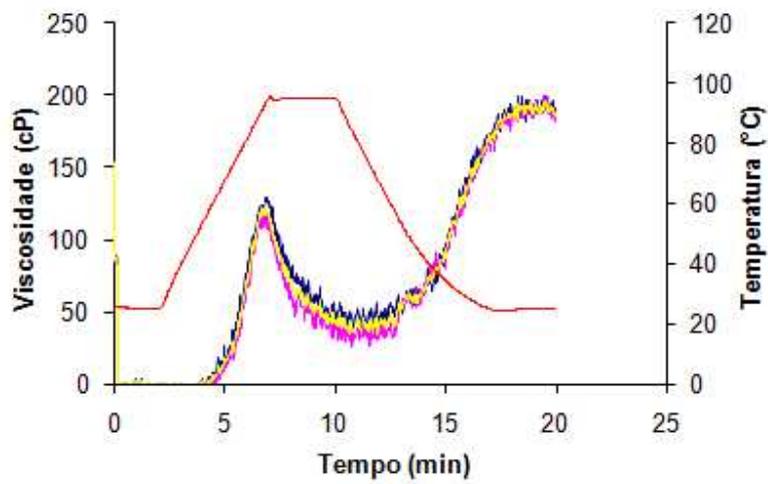


Figura 38C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

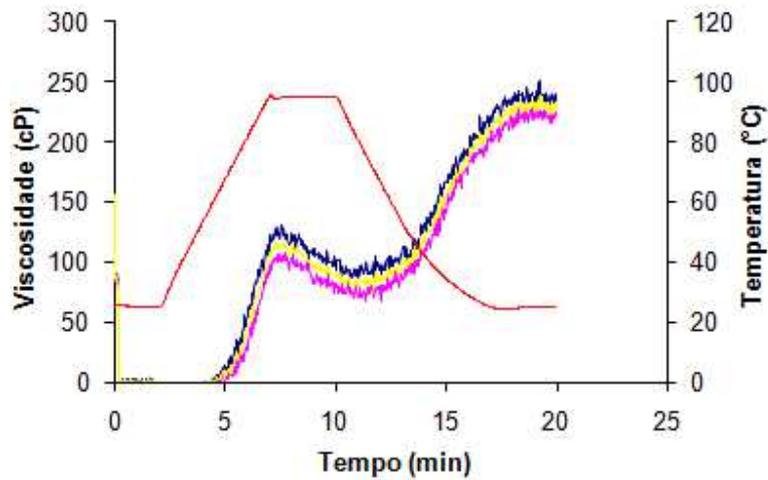


Figura 39C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

Figuras da viscosidade de pasta dos extrudados elaborados com grits de arroz e torta de gergelim desengordurada (GA+TGD)

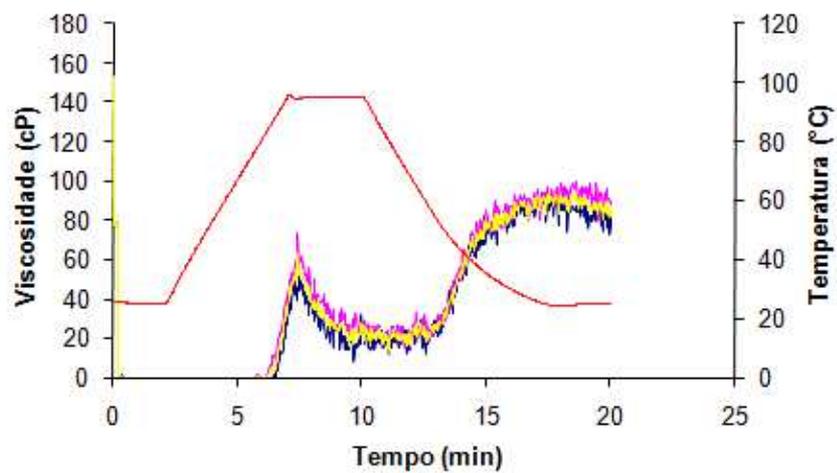


Figura 40C Contendo 27% de umidade 28,87% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

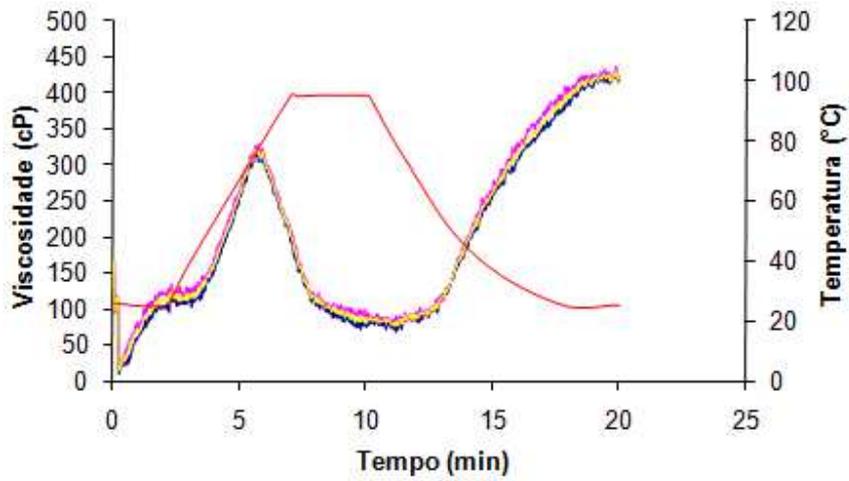


Figura 41C Contendo 27% de umidade 5,13% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

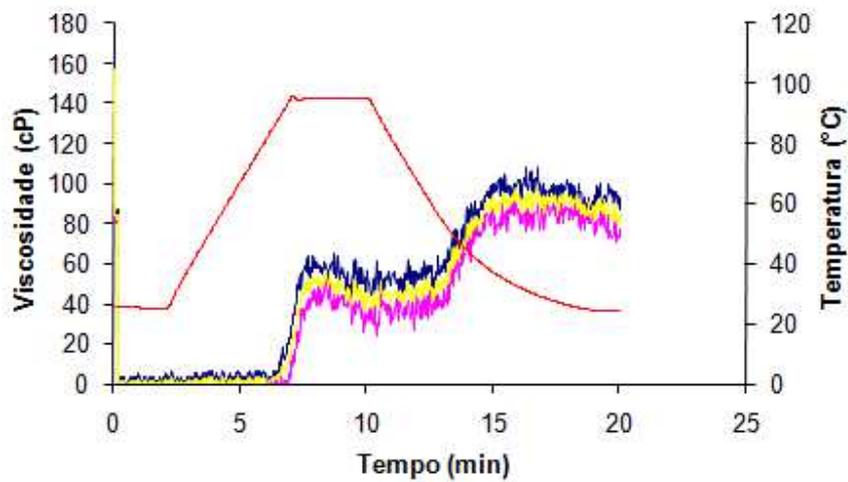


Figura 42C Contendo 37% de umidade 29,87% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

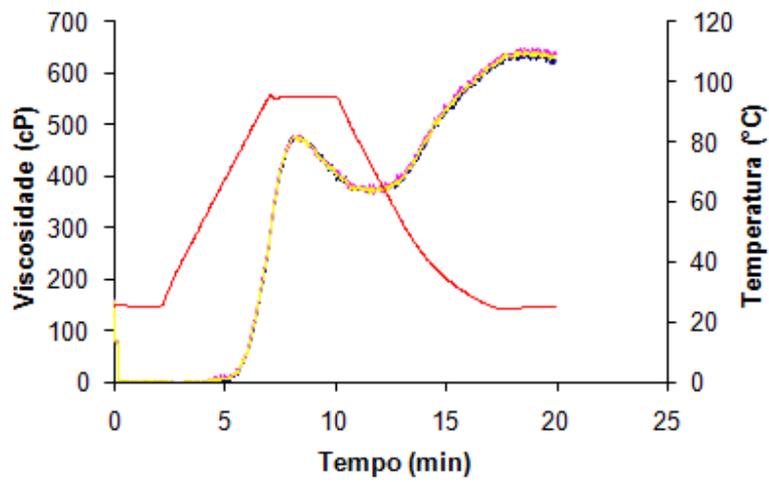


Figura 43C Contendo 37% de umidade 5,13% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

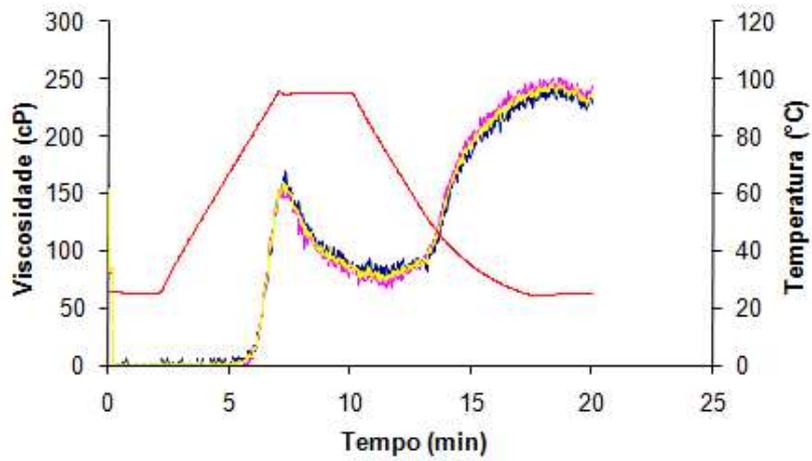


Figura 44C Contendo 24,93% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

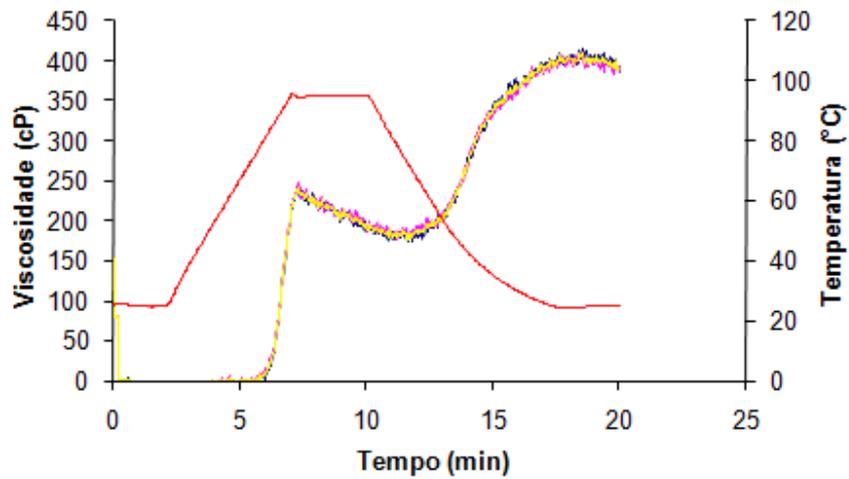


Figura 45C Contendo 39,07% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

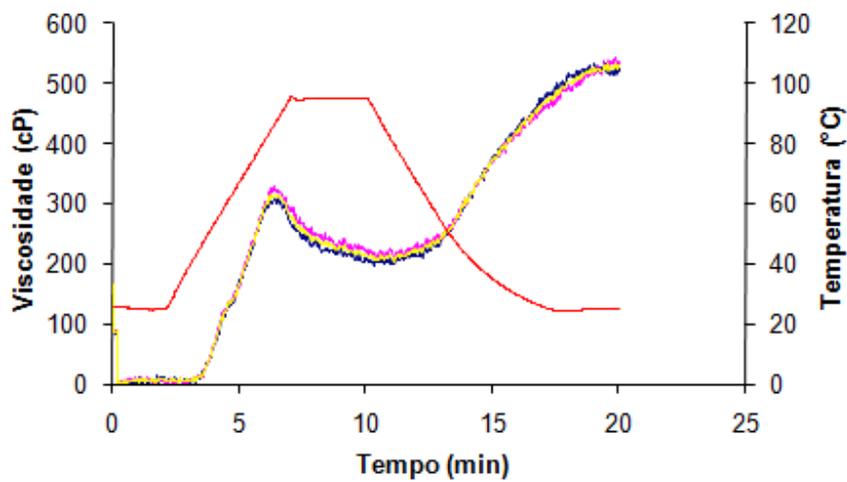


Figura 46C Contendo 32% de umidade 0,01% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

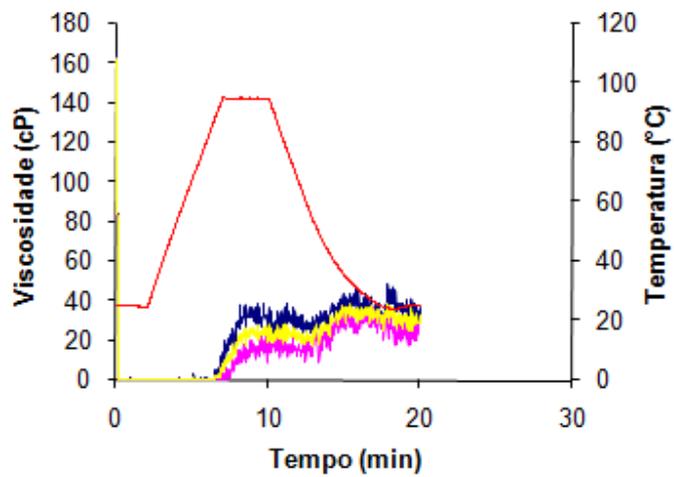


Figura 47C Contendo 39,07% de umidade 34,99% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

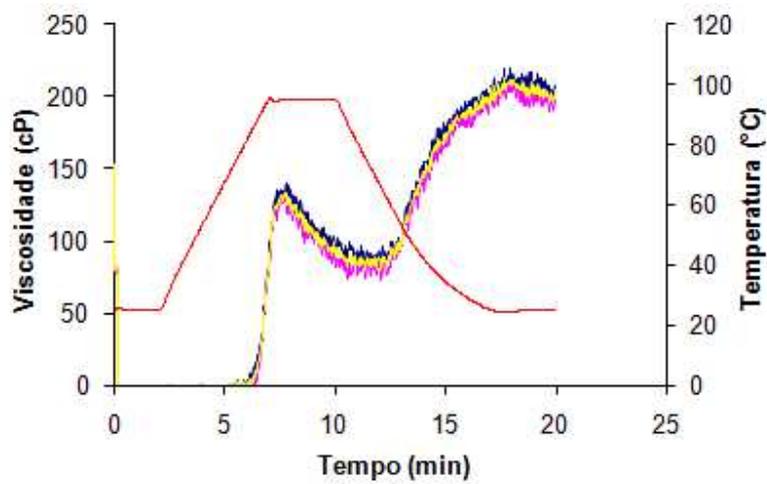


Figura 48C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

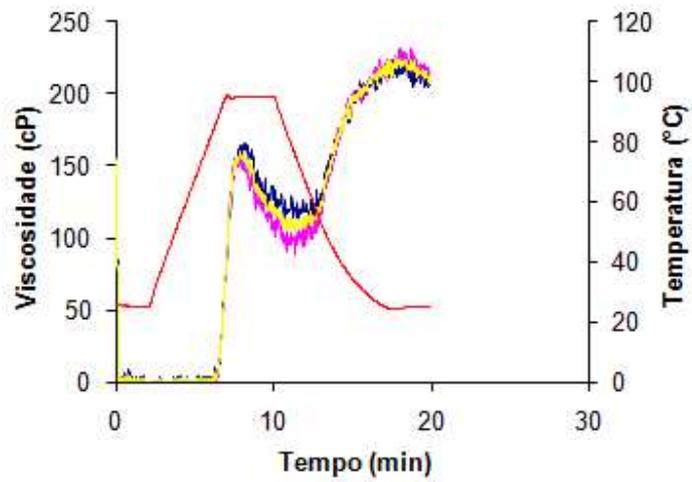


Figura 49C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

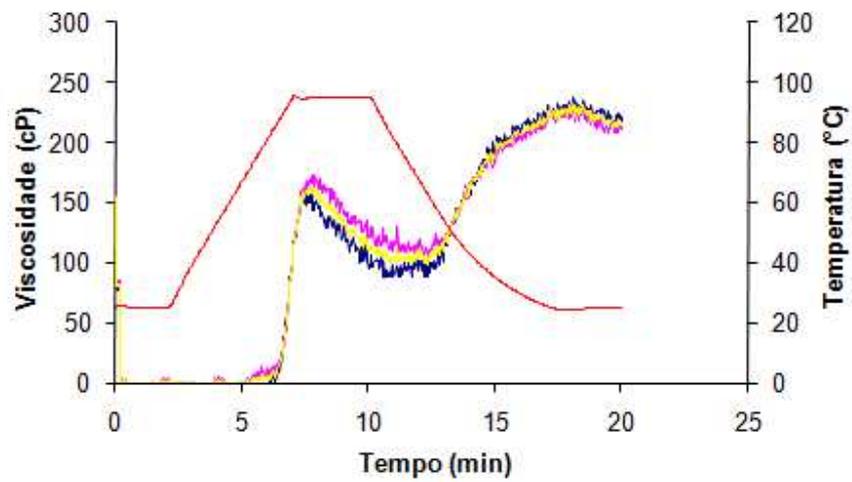


Figura 50C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

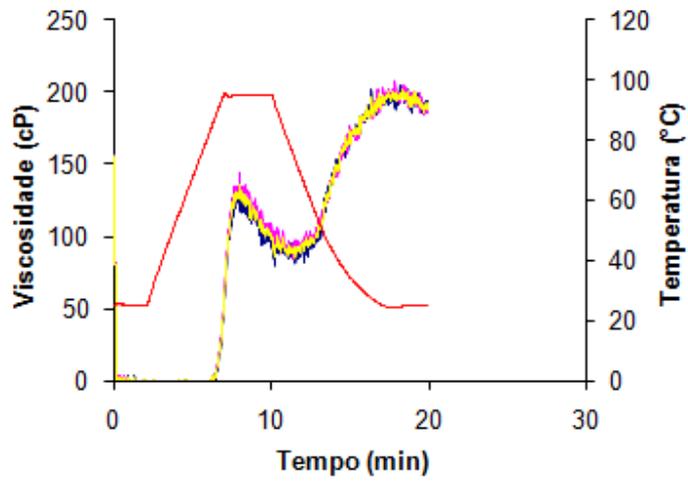


Figura 51C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta

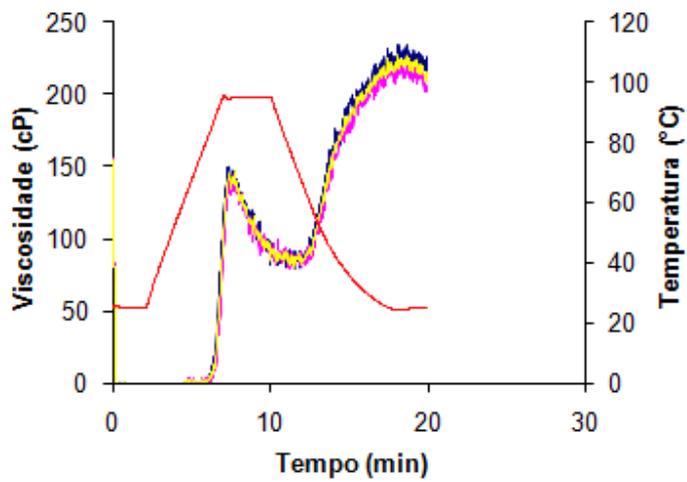


Figura 52C Contendo 32% de umidade 17,50% de TGD
Perfil da curva de viscosidade de pasta