



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Alimentos
Departamento de Tecnologia de Alimentos



DESENVOLVIMENTO DE CEREAL MATINAL EXTRUSADO ORGÂNICO À BASE DE FARINHA DE MILHO E FARELO DE MARACUJÁ

Maria Gabriela Vernaza Leoro

Engenheira de Alimentos

Profa. Dra. Caroline Joy Steel

Orientadora

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Alimentos da Universidade
Estadual de Campinas para obtenção do
Título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Campinas -SP

2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

L555d Leoro, Maria Gabriela Vernaza
Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de
farinha de milho e farelo de maracujá / Maria Gabriela Vernaza Leoro.
-- Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Caroline Joy Steel
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Extrusão. 2. Cereal matinal. 3. Superfície de resposta –
Metodologia. I. Steel, Caroline Joy. II. Universidade Estadual de
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Development of an organic extruded breakfast cereal using corn flour and
passion fruit fiber

Palavras-chave em inglês (Keywords): Extrusion, Breakfast cereal, Response surface –
Methodology

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Caroline Joy Steel

Maria Teresa Bertoldo Pacheco

Renata Maria dos Santos Celeghini

Fernando César Akira Urbano Matsuura

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Caroline Joy Steel
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
(Orientadora)

Dra. Maria Teresa Bertoldo Pacheco
Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL
(Membro)

Dra. Renata Maria dos Santos Celeghini
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
(Membro)

Dr. Fernando César Akira Urbano Matsuura
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
(Membro)

DEDICATORIA

Dedico este trabalho especialmente
aos meus pais, Medardo e Sonia,
aos meus irmãos, Steve e Roberto,
e à minha avó, Lolita.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por mais esta conquista.

Aos meus pais, irmãos e avôs, pelo amor incondicional, apoio e pelo exemplo de vida.

À minha orientadora, Profa. Dra. Caroline, pela orientação, amizade e dedicação dada a mim neste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Maria Teresa, Renata e Fernando, pelo auxílio, atenção e sugestões no decorrer deste trabalho.

À Alessandra, técnica do Laboratório de Cereais, pela atenção, ajuda nos momentos de dúvida e pela amizade.

Ao Prof. Yoon, pelas sugestões e atenção dadas a mim ao longo deste trabalho.

À Teresa, pelo carinho e apoio na realização das análises de índice glicêmico.

Ao Cosme, pela eficiência e dedicação.

Aos fornecedores das matérias-primas utilizadas: Empresa Cotrimaio (Cooperativa Agropecuária Alto Uruguai Ltda.), pela doação da farinha de milho, e ao Sítio Boa Esperança, pelo fornecimento do farelo de maracujá.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos PEC-PG concedida.

À FEA, DTA e UNICAMP pelo suporte institucional.

Ao Mateo, pela compreensão, paciência e carinho em todos os momentos.

À Nadia, Francine, Danuta e Bruna, pela amizade, momentos convvidos, conselhos e carinho dados a mim durante todo este tempo.

Aos colegas do laboratório, Ricardo, Matheus, Eveline, Reinaldo, André, Camila, Luz, Luciana, Marcela e Lílian, pelo companherismo e agradável convivência.

Aos amigos da pós-graduação do DTA e do DEA, e a todas as pessoas que de formas diversas me apoiaram e contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“O futuro tem muitos nomes.
Para os fracos é o inatingível.
Para os temerosos, o desconhecido.
Para os valentes é a oportunidade.”
Victor Hugo (1802-1885)

“El futuro tiene muchos nombres.
Para los débiles es lo inalcanzable.
Para los temerosos, lo desconocido.
Para los valientes es la oportunidad.”
Victor Hugo (1802-1885)

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 PRODUTOS ORGÂNICOS	3
2.2 ALIMENTOS FUNCIONAIS	5
2.3 FIBRAS	6
2.3.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	6
2.3.2. PROPRIEDADES FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS	7
2.3.3 RECOMENDAÇÕES DE CONSUMO DE FIBRAS	10
2.3.4 FONTES	11
2.4 MARACUJÁ	12
2.4.1 FARELO DE MARACUJÁ	14
2.4.2 COMPOSTOS CIANOGENICOS NO MARACUJÁ	15
2.5 PROCESSO DE EXTRUSÃO	16
2.5.1 CEREAIS MATINAIS EXTRUSADOS	19
2.6 USO DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 MATERIAL	25
3.1.1 MATÉRIAS-PRIMAS	25
3.1.2 REAGENTES	25
3.2 MÉTODOS	25
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	25
3.2.1.1 Composição centesimal	25
3.2.1.1.1 Umidade	25
3.2.1.1.2 Proteína bruta	25
3.2.1.1.3 Lipídios	26
3.2.1.1.4 Cinzas	26
3.2.1.1.5 Carboidratos	26
3.2.1.1.7 Teores de fibra alimentar total, insolúvel e solúvel	26
3.2.1.2 Propriedades físicas	26

3.2.1.2.1	Granulometria	26
3.2.1.2.2	Cor	27
3.2.1.3	Propriedades físico-químicas.....	27
3.2.1.3.1	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	27
3.2.1.3.2	Índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)	28
3.2.1.3.3	Índice de absorção de óleo (IAO)	29
3.2.1.4	Propriedades nutricionais.....	29
3.2.1.4.1	Índice glicêmico “in vitro” (IG).....	29
3.2.1.4.2	Compostos cianogênicos	30
3.2.2	PRODUÇÃO DOS EXTRUSADOS	31
3.2.2.1	Condicionamento das amostras	31
3.2.2.2	Processamento	32
3.2.2.3	Planejamento experimental	33
3.2.2.4	Análise de componentes principais	35
3.2.3	CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS EXTRUSADOS.....	35
3.2.3.1	Propriedades físicas.....	35
3.2.3.1.1	Índice de expansão (IE)	35
3.2.3.1.2	Dureza	36
3.2.3.1.3	Manutenção da textura em leite.....	36
3.2.3.1.4	Cor	37
3.2.3.2	Propriedades físico-químicas.....	37
3.2.3.2.1	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	37
3.2.3.2.2	Índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)	37
3.2.3.2.3	Índice de absorção de óleo (IAO)	37
3.2.3.3	Propriedades nutricionais.....	38
3.2.3.3.1	Teor de fibra alimentar teórico	38
3.2.3.3.2	Índice glicêmico “in vitro” (IG).....	38
3.2.3.3.3	Compostos cianogênicos	38
3.2.4	DETERMINAÇÃO DO PONTO ÓTIMO	39
3.2.4.1	Análise do ponto ótimo.....	39

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	40
4.1.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....	40
4.1.2 PROPRIEDADES FÍSICAS	41
4.1.2.1 Granulometria.....	41
4.1.2.2 Cor	42
4.1.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	43
4.1.3.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	43
4.1.3.2 Índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)	44
4.1.3.3 Índice de absorção de óleo (IAO)	45
4.1.4 PROPRIEDADES NUTRICIONAIS	45
4.1.4.1 Índice glicêmico “in vitro” (IG)	45
4.1.4.2 Compostos cianogênicos	47
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS EXTRUSADOS.....	48
4.2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS	48
4.2.1.1 Índice de expansão	50
4.2.1.2 Dureza	55
4.2.1.3 Manutenção da textura em leite.....	60
4.2.1.4 Cor	65
4.2.1.4.1 Luminosidade	65
4.2.1.4.2 Croma	70
4.2.1.4.3 Ângulo de tonalidade.....	71
4.2.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	75
4.2.2.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	76
4.2.2.1.1 Índice de solubilidade em água (ISA)	77
4.2.2.1.2 Índice de absorção de água (IAA).....	81
4.2.2.2 Índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)	82
4.2.2.3 Índice de absorção de óleo (IAO)	84
4.2.3 PROPRIEDADES NUTRICIONAIS	87
4.2.3.1 Teor de fibra alimentar teórico	88
4.2.3.2 Índice glicêmico “in vitro”	89
4.2.3.3 Compostos cianogênicos	93
4.2.4 PONTO ÓTIMO.....	97

4.2.4.1 Composição centesimal do produto extrusado no ponto ótimo (PO)	98
4.2.4.2 Propriedades físicas do produto extrusado no ponto ótimo (PO)	100
5. CONCLUSÕES	102
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	104
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
8. APÊNDICES.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das fibras	7
Tabela 2. Fontes de fibras e substâncias semelhantes às fibras	11
Tabela 3. Quantidade de maracujá produzido no Brasil por região geográfica em 2002 ..	13
Tabela 4. Níveis das variáveis independentes	34
Tabela 5. Ensaios realizados de acordo com o planejamento experimental.....	34
Tabela 6. Composição química centesimal das matérias-primas.....	40
Tabela 7. Distribuição granulométrica das matérias-primas	41
Tabela 8. Valores médios dos parâmetros L^* , a^* , b^* , C^* e h_{ab} das matérias-primas.....	42
Tabela 9. ISA, IAA, ISL, IAL e IAO das matérias-primas	43
Tabela 10. Propriedades físicas dos produtos extrusados	49
Tabela 11. Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão (IE)	50
Tabela 12. Análise de variância para o índice de expansão (IE).....	51
Tabela 13. Coeficientes de regressão para a resposta dureza	56
Tabela 14. Análise de variância para a dureza	56
Tabela 16. Análise de variância para a dureza após 5 minutos em leite.....	61
Tabela 17. Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade (L^*)	66
Tabela 18. Análise de variância para a luminosidade (L^*)	66
Tabela 19. Análise dos efeitos para a resposta croma (C^*).....	70
Tabela 20. Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade (h_{ab}).....	71
Tabela 21. Análise de variância para o ângulo de tonalidade (h_{ab})	71
Tabela 22. Propriedades físico-químicas dos produtos extrusados	76
Tabela 23. Coeficientes de regressão para a resposta índice de solubilidade em água (ISA).....	77
Tabela 24. Análise de variância para o índice de solubilidade em água ISA	78

Tabela 25. Análise dos efeitos para a resposta índice de absorção de água (IAA)	82
Tabela 26. Análise dos efeitos para as respostas índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)	83
Tabela 27. Coeficientes de regressão para a resposta índice de absorção de óleo (IAO)	84
Tabela 28. Análise de variância para o índice de absorção de óleo (IAO)	85
Tabela 29. Índice glicêmico “in vitro” dos produtos extrusados, teor de compostos cianogênicos e teor de fibra alimentar teórico	88
Tabela 30. Análise dos efeitos para a resposta índice glicêmico (IG)	89
Tabela 31. Análise de Componentes Principais (ACP) do índice glicêmico (IG) das amostras extrusadas	90
Tabela 32. Coeficientes de regressão para a resposta teor de compostos cianogênicos totais	94
Tabela 33. Análise de variância para o teor de compostos cianogênicos	94
Tabela 34. Composição centesimal do produto extrusado no ponto ótimo (PO)	99
Tabela 35. Valores codificados e reais das condições do ponto ótimo (PO)	100
Tabela 36. Valores experimentais e preditos para o índice de expansão (IE), dureza e cor do produto extrusado no ponto ótimo (PO)	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma do processo de extração da polpa de maracujá e obtenção do farelo	14
Figura 2. Esquema de um sistema em estudo	22
Figura 3. Farelo de maracujá (a) e farinha de milho (b) utilizados.....	42
Figura 4. Cinética enzimática “in vitro” da farinha de milho, do farelo de maracujá e do pão branco (utilizado como referência).....	46
Figura 5. Índice de hidrólise (IH) e índice glicêmico (IG) das matérias-primas e da amostra de referência (pão branco)	47
Figura 6. Superfícies de resposta para o índice de expansão (IE) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.	52
Figura 7. Superfícies de resposta para a dureza como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.	58
Figura 8. Superfícies de resposta para a dureza após 5 minutos em leite como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.	63
Figura 9. Superfícies de resposta para a luminosidade (L^*) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.	68
Figura 10. Superfícies de resposta para o ângulo de tonalidade (h_{ab}) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.	73
Figura 11. Produtos extrusados em diferentes condições	75

Figura 12. Superfícies de resposta para o índice de solubilidade em água (ISA) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.	79
Figura 13. Superfícies de resposta para o índice de absorção de óleo (IAO) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.	86
Figura 14. Representação gráfica da Análise de Componentes Principais (ACP) do índice glicêmico (IG) das amostras extrusadas.....	91
Figura 15. Superfícies de resposta para o teor de compostos cianogênicos totais (CCT) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.	96
Figura 16. Produto extrusado com 12% de farelo de maracujá, 20% de umidade da matéria-prima e 135 °C nas 2ª e 3ª zonas do extrusor (ponto ótimo).....	98
Figura 17. Cinética de perda da dureza do produto extrusado no ponto ótimo (PO) após a imersão em leite	101

RESUMO

É cada vez maior o número de pessoas que procura uma alimentação mais saudável, com alimentos frescos, de boa qualidade biológica e livre de defensivos agrícolas, como são os produtos orgânicos. Percebe-se também que nas dietas contemporâneas em geral existe um “déficit nutricional” de fibras. Este fato tem motivado as autoridades de saúde de diversos países a estimular um maior consumo de fibras por parte da população adulta, seja estimulando o consumo de alimentos como frutas, verduras, leguminosas, raízes, tubérculos e cereais integrais, ou através de produtos comerciais de consumo habitual que tenham sido enriquecidos com fibras.

Já existem no mercado ou têm sido estudadas algumas fontes alternativas de fibras, como as fibras de beterraba, de caule de trigo, de laranja, de maracujá e a quitosana. Neste trabalho, optou-se por aproveitar os resíduos da extração de polpa de maracujá como fonte alternativa de fibras. Na extração de polpas e sucos, os resíduos resultantes do processo são normalmente utilizados em ração animal ou como adubo.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de parâmetros da extrusão termoplástica (umidade da matéria-prima e temperatura de processo) e da adição de fibra sobre propriedades físicas, propriedades físico-químicas e propriedades nutricionais de produtos extrusados, no desenvolvimento de cereal matinal orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá.

A matéria-prima foi caracterizada quanto a sua composição centesimal; teores de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel; índices de solubilidade em água (ISA), de absorção de água (IAA), de solubilidade em leite (ISL), de absorção de leite (IAL), de absorção de óleo (IAO), índice glicêmico (IG) e teor de compostos cianogênicos.

Após a caracterização da matéria-prima, foi utilizado o processo de extrusão termoplástica para produzir uma base para cereal matinal, otimizando-se a formulação e os parâmetros de extrusão através da Metodologia de Superfície de Resposta, visando a obtenção de um produto com “alto teor de fibras” e propriedades tecnológicas adequadas.

Os produtos extrusados foram caracterizados quanto a propriedades físicas, como índice de expansão (IE), cor, dureza e manutenção da textura em leite; propriedades físico-químicas, como ISA, IAA, ISL, IAL e IAO; e propriedades nutricionais, como IG e teor de compostos cianogênicos.

Foi observado que o farelo de maracujá utilizado continha alto teor de fibra alimentar total (64,11%), apresentando teores significativos de fibra insolúvel (50,16%) e

fibra solúvel (13,95%), ao contrário da farinha de milho que apresentou baixo teor de fibra alimentar total (3,68%), sendo 3,37% fibra insolúvel e 0,31% fibra solúvel. Os valores encontrados na determinação do ISA da farinha de milho e do farelo de maracujá foram 7,14 e 31,66%, respectivamente. O valor do IAA encontrado para a farinha de milho foi de 3,33 g de água/g material seco e para o farelo de maracujá foi de 14,38 g de água/g material seco. Os valores encontrados para o ISL da farinha de milho e do farelo de maracujá foram 5,23 e 14,53%, respectivamente. Os valores do ISL foram menores quando comparados com os valores do ISA. Os valores do IAL encontrados para a farinha de milho e para o farelo de maracujá foram de 3,26 e 12,50 g de leite/g material seco, maiores que os valores de IAA, possivelmente devido à formação de géis de pectina. Os índices de absorção de óleo da farinha de milho e do farelo de maracujá foram de 3,63 e 4,74 g de óleo/g de material seco, respectivamente. Os índices glicêmicos da farinha de milho e do farelo de maracujá foram de 48,03 e 45,00%, respectivamente. O farelo de maracujá apresentou um teor de compostos cianogênicos totais de 748,3 mg/kg.

As superfícies de resposta demonstraram que a valores baixos das variáveis estudadas, foi obtida a maior expansão. Já, sobre a dureza dos produtos extrusados, as superfícies demonstraram que o efeito mais importante foi a umidade e a interação dela com a temperatura. Ao aumentar a umidade, a dureza dos produtos extrusados aumentou significativamente. No entanto, foi observado que a temperatura de processo foi o parâmetro que mais influenciou negativamente a textura do produto após 5 minutos de imersão em leite. Em relação à cor dos extrusados, altos níveis de farelo de maracujá diminuíram os valores de L^* e h_{ab} , produzindo extrusados mais escuros e menos amarelos, ao contrário do efeito da temperatura, onde altas temperaturas aumentaram o valor de L^* e o h_{ab} , produzindo extrusados mais claros e mais amarelos.

Nos produtos extrusados, os maiores valores de ISA foram encontrados para os maiores teores de farelo de maracujá, enquanto que os maiores valores para o IAO foram obtidos com baixos teores de farelo.

Aparentemente, não houve efeito das variáveis estudadas sobre o IG dos produtos extrusados. O teor dos compostos cianogênicos foi maior nos produtos com maiores teores de farelo de maracujá, como esperado. Além disso, parece haver um efeito da umidade da matéria-prima na redução dos compostos cianogênicos durante o processo de extrusão.

O extrusado considerado como produto ótimo neste trabalho apresentou propriedades adequadas com respeito a IE e dureza. Também apresentou uma

porcentagem de fibra alimentar alta (11%), bem superior à exigida pela Legislação Brasileira (6 g/100 g de produto) para ser denominado cereal matinal “com alto teor de fibras”.

Palavras-chave: 1. Extrusão. 2. Cereal matinal. 3. Farelo de maracujá. 4. Metodologia de Superfície de Resposta.

ABSTRACT

The number of people searching healthier eating habits, including fresh foods of good biological quality and free of pesticides, such as organic products, is increasing. It is also observed that in contemporary diets in general, there is a “nutritional deficit” of fibers. This fact has motivated health authorities of several countries to stimulate a greater ingestion of fibers by the adult population, either by stimulating the consumption of fruits, vegetables, legumes, tubers and wholegrain cereals, or through the enrichment of commonly consumed commercial products.

There are already a few alternative fiber sources on the market or under study, such as beetroot, wheat stalk, orange, passion fruit fibers and chitosan. In this work, we opted to use the residues from the extraction of passion fruit pulp as an alternative fiber source. In the extraction of pulps and juices, the residues are usually used as animal feed or fertilizers.

The objective of this work was to study the effect of thermoplastic extrusion parameters (raw material moisture content and process temperature) and fiber addition on physical, physical-chemical and nutritional properties of extruded products, as a step in the development of an organic breakfast cereal based on corn flour and passion fruit fiber.

The raw material was characterized as to its proximate composition; total, soluble and insoluble fiber contents; water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), milk solubility index (MSI), milk absorption index (MAI), oil absorption index (OAI); glycemic index (GI) and cyanogenic compounds.

After characterization of the raw material, the thermoplastic extrusion process was used to produce a base for breakfast cereals, optimizing the formulation and process parameters through the Response Surface Methodology, with the aim of obtaining a “high fiber content” product with adequate technological properties.

The extruded products were characterized with respect to physical properties, such as expansion index (EI), color, hardness and maintenance of texture in milk; physical-chemical properties, such as WSI, WAI, MSI, MAI and OAI; and nutritional properties, such as GI and cyanogenic compounds.

It was observed that the passion fruit fiber used had a high total fiber content (64.11%), presenting significant contents of insoluble (50.16%) and soluble (13.95%) fibers, different to the corn flour used that presented a low total fiber content (3.68%), of which 3.37% were insoluble fibers and 0.31% soluble fibers. The values found for the WSI

of the corn flour and passion fruit fiber were 7.14 and 31.66%, respectively. The values found for the WAI of the corn flour and of the passionfruit fiber were 3.33 and 14.38 g water/g dry material, respectively. The values found for the MSI of the corn flour and passion fruit fiber were 5.23 and 14.53%, respectively. The MSI values were lower than the WSI values. The values found for the MAI of the corn flour and passion fruit fiber were 3.26 and 12.50 g milk/g dry material, higher than those of WAI, possibly due to the formation of pectin gels. The oil absorption indices of the corn flour and passion fruit fiber were 3.63 and 4.74 g oil/g dry material, respectively. The glycemic indices of the corn flour and passion fruit fiber were 48.03 and 45.00%, respectively. The content of cyanogenic compounds in passion fruit fiber were 748,3 mg/kg.

The response surfaces demonstrated that at low values of the variables studied, greatest expansion was obtained. For the hardness of the extruded products, the surfaces demonstrated that the most important effect was moisture and its interaction with temperature. Increasing moisture, the hardness of the extruded products increased significantly. However, it was observed that process temperature was the parameter that had the greatest negative effect on the texture of the products after 5 minutes in milk. With respect to color of the extrudates, high levels of passion fruit fiber reduced L^* and h_{ab} values, producing darker and less yellow extrudates, different to the effect of temperature, where high temperatures increased L^* and h_{ab} values, producing lighter and more yellow extrudates.

In the extruded products, the highest values for WSI were found with the highest passion fruit fiber contents, while the highest values for OAI were obtained with low fiber contents.

Apparently, there was no effect of the variables studied on the GI of the extruded products. The content of cyanogenic compounds was higher in the products with greater percentages of passion fruit fiber, as expected. Apart from this, there seems to be an effect of raw material moisture content in the reduction of cyanogenic compounds during the extrusion process.

The extrudate considered optimum in this work presented adequate properties with respect to EI and hardness. It also presented a high percentage of dietary fiber (11%), higher than that required by the Brazilian Legislation (6 g/100 g product) to be labeled as a "high fiber content" breakfast cereal.

Key-words: 1. Extrusion. 2. Breakfast cereal. 3. Passion fruit fiber. 4. Response Surface Methodology.

1. INTRODUÇÃO

Os alimentos convencionais consumidos "in natura" freqüentemente apresentam contaminação por defensivos agrícolas e adubos químicos, ocasionando um aumento na demanda de alimentos de boa qualidade biológica e livres de defensivos. A demanda dos consumidores por produtos orgânicos tem aumentado drasticamente, assim como a produção orgânica. No entanto, a quantidade produzida de orgânicos ainda é insuficiente para garantir uma alimentação segura para toda a população.

Cada vez está mais claro que existe uma forte ligação entre dieta e saúde. Os conhecimentos científicos sobre o papel benéfico de vários ingredientes ou nutrientes para a prevenção e tratamentos de doenças específicas estão aumentando rapidamente. Estes conhecimentos resultaram em um aumento do desenvolvimento de produtos chamados alimentos funcionais. Os alimentos funcionais são aqueles que desempenham funções além das funções nutricionais conhecidas. Possuem substâncias que atuam no organismo, modulando funções bioquímicas e fisiológicas, e ajudam na prevenção de certas doenças e na manutenção da saúde.

O consumo de fibras tem um papel importante na prevenção de alguns males como a constipação, diabetes, obesidade e doenças cardiovasculares. É de muita importância tomar em conta que o enriquecimento de alimentos com fibra não somente influencia, de forma global, a qualidade do alimento, pela mudança de suas propriedades fisiológicas, mas também afeta significativamente as propriedades sensoriais do produto.

Já existem no mercado ou têm sido estudadas algumas fontes alternativas de fibras, como as fibras de beterraba, de caule de trigo, de laranja, de maracujá e a quitosana. Neste trabalho, optou-se por aproveitar os resíduos da extração de polpa de maracujá como fonte alternativa de fibras. Na extração de polpas e sucos, os resíduos resultantes no processo são normalmente utilizados em ração animal ou como adubo.

O Brasil é o maior produtor mundial de maracujá, sendo o suco o maior produto comercializado. Na produção de sucos, os frutos fornecem de 65 a 70% de seu peso como cascas e sementes. Essas cascas são ricas em carboidratos, fibras, pectina, proteína e matéria mineral, embora elas apresentem quantidades significativas de compostos cianogênicos.

O processo de extrusão termoplástica é utilizado na produção de uma grande variedade de produtos como cereais matinais, "snacks", amidos modificados, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, produtos cárneos e rações animais.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da extrusão termoplástica e da adição de fibra sobre propriedades físicas, físico-químicas e nutricionais de produtos extrusados, no desenvolvimento de cereal matinal orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá. A matéria-prima foi caracterizada quanto a sua composição centesimal; teores de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel; índices de solubilidade em água (ISA), de absorção de água (IAA), de solubilidade em leite (ISL), de absorção de leite (IAL), de absorção de óleo (IAO), glicêmico (IG) e teor de compostos cianogênicos. Após a caracterização, foi utilizada a extrusão termoplástica para produzir o cereal matinal, otimizando-se a formulação e os parâmetros de extrusão através da Metodologia de Superfície de Resposta para a obtenção de um produto com “alto teor de fibras” e propriedades tecnológicas aceitáveis. Os produtos extrusados foram caracterizados quanto a propriedades físicas, como índice de expansão (IE), cor, dureza e manutenção da textura em leite; propriedades físico-químicas, como ISA, IAA, ISL, IAL, IAO, e propriedades nutricionais, como índice glicêmico e teor de compostos cianogênicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRODUTOS ORGÂNICOS

Existe uma relação intrínseca entre a agricultura e a saúde dos consumidores. Os métodos de cultivo afetam a qualidade do solo e este, o equilíbrio da planta, e, finalmente, a planta interfere na qualidade de vida do homem e do animal que dela se alimentam. Existem duas formas diferentes de cultivo, conhecidas como agricultura convencional e agricultura orgânica, diferenciadas pelo rendimento da colheita e o uso de defensivos agrícolas e outros insumos. A prática da agricultura convencional utiliza cultivares de alto rendimento, fertilizantes químicos e pesticidas, irrigação e mecanização. Por outro lado, a agricultura orgânica não pode utilizar produtos de modificação genética, nem processos de irradiação. Além disso, no solo da agricultura orgânica é proibido o uso de pesticidas e herbicidas pelo menos 3 anos antes da primeira colheita (ASAMI et al., 2003). Além disso, a agricultura orgânica substitui os fertilizantes, pesticidas e outros agro-químicos por matérias orgânicas como adubos vegetal e animal. Esta agricultura controla as pragas com diferentes métodos, como, por exemplo, usando controles biológicos pela introdução de espécies predadoras ou parasitas controladas ou usando pesticidas derivados de plantas como a nicotina (DANDY e DOBRASZCZYK, 2001).

Os alimentos convencionais consumidos "in natura" freqüentemente apresentam contaminação por defensivos agrícolas e adubos químicos de síntese; os de origem animal são produzidos com o uso intensivo de hormônios, vacinas e antibióticos, além dos biocidas. Os alimentos industrializados sofrem métodos de beneficiamento como refinação e aditivação, que, quando usados indevidamente, podem ocasionar sérios danos à saúde dos consumidores (HAMERSCHMIDT, 2003).

No Brasil, o Instituto Biodinâmico (IBD) descreve dois termos para rotulagem referentes aos produtos orgânicos, sempre que todos os produtos sejam de origem certificada orgânica: "produtos orgânicos" e "produtos com ingredientes orgânicos". O primeiro equivale a produtos que apresentem um mínimo de 95% de ingredientes de origem orgânica certificada, enquanto que os produtos que apresentem 70% de ingredientes de origem orgânica certificada serão rotulados como produtos com ingredientes orgânicos, devendo constar nos rótulos as proporções dos ingredientes orgânicos e não-orgânicos (IBD, 1999).

A demanda dos consumidores por produtos orgânicos tem aumentado drasticamente, assim como a produção orgânica. Hoje já são mais de 120 países

produzindo alimentos orgânicos, gerando uma renda bruta superior a 25 bilhões de dólares. Em termos de terra cultivada, pesquisas têm reportado que aproximadamente 15,8 milhões de hectares são cultivados no sistema orgânico por todo o mundo. Atualmente, a maior parte desta área está localizada na Austrália (7,6 milhões de hectares). Quando se considera a participação de todos os continentes na área total global sob agricultura orgânica, observa-se que a Oceania tem a maior participação (48,51%), seguida da Europa e da América Latina (23,58 e 20,2%, respectivamente). Já os Estados Unidos representam 7,42% da área total de agricultura orgânica. Os principais produtos orgânicos comercializados internacionalmente são: frutas e vegetais “in natura” e processados, frutas desidratadas e nozes, café, chás, cacau, especiarias e ervas, óleos vegetais e seus derivados, grãos “in natura” e grãos secos, carne, lácteos, ovos, bebidas alcoólicas e comidas preparadas (REHBER e TURHAN, 2002).

O Brasil já tem uma produção orgânica maior que 300.000 hectares plantados, sendo que o Paraná é o estado que mais cresce em termos de produção orgânica (HAMERSCHMIDT, 2003). A produção orgânica no Brasil, nos últimos anos, cresce a uma taxa entre 30% e 50% ao ano (DAROLT, 2002). No entanto, a quantidade de alimentos produzida ainda é insuficiente para garantir a alimentação segura para toda a população (HAMERSCHMIDT, 2003).

É cada vez maior o número de pessoas que está mudando para uma alimentação mais saudável, com alimentos frescos, de boa qualidade biológica e livre de defensivos (DAROLT, 2002). Os consumidores também estão procurando uma dieta com mais benefícios e tentando reduzir a ingestão de carboidratos, calorias, ácidos graxos “trans” e aditivos (FENSKE, 2004).

Nas últimas décadas, os produtos orgânicos têm recebido maior atenção pelos consumidores. Segundo Cicia e Del Giudice (2002), o mercado representativo de produtos orgânicos na Europa, está visado por consumidores de uma classe sócio-econômica alta, ou pessoas com um nível de educação alto (90% das pessoas têm nível secundário ou universitário). Os mesmos pesquisadores comprovaram que os consumidores destes produtos estão estreitamente relacionados com estilos de vida alternativos, como por exemplo, vegetarianos, ambientalistas, pessoas que utilizam medicina alternativa, etc. Em outra pesquisa realizada na Europa foi revelado que o fator principal que causa interesse pela produção orgânica foi que os consumidores consideram estes produtos como “saudáveis” (55% dos consumidores entrevistados); eles consumiriam por “curiosidade” (23%), “para ajudar o meio ambiente” (11%), “porque é

nutritivo” e “saboroso” (4,9 e 4,5%, respectivamente) (CHINNICI; D’ AMICO e PECORINO, 2002).

Nos Estados Unidos, o mercado de produtos orgânicos tem aumentado notavelmente nos últimos dez anos, mostrando um crescimento maior que 20% (FENSKE, 2004). Nos últimos anos, algumas companhias multinacionais como McDonald’s, Danone, Lufthansa, Swiss Air e Nestlé têm entrado no mercado orgânico. Esse desenvolvimento no mercado de produtos orgânicos pode ser visto como um indicador que o setor orgânico vai crescer e desenvolver-se ainda muito mais (REHBER e TURHAN, 2002).

Segundo Ruchinski e Brandenburg (1999), em Curitiba, a principal razão para o consumo de produtos orgânicos é a questão da saúde. Os resultados apresentados mostraram que o consumidor associa a produção orgânica com uma agricultura sem defensivos agrícolas (42,9%) e com um processo natural de cultivo (33,3%) (DAROLT, 2002).

Segundo o Instituto Gallup, no município de São Paulo, os compradores de legumes e verduras já têm consciência da toxicidade dos produtos cultivados com defensivos agrícolas e da dificuldade de produzi-los sem os mesmos. Por isso, segundo a pesquisa, essas pessoas admitem pagar até 30% mais caro pelos produtos orgânicos, desde que devidamente persuadidos de que são mais saudáveis do que os consumidos atualmente. Apesar da maioria dos consumidores (62,7%) considerarem os preços dos produtos orgânicos mais elevados em relação aos convencionais, o consumo continua crescendo (DAROLT, 2002).

2.2 ALIMENTOS FUNCIONAIS

Alimentos funcionais – termo utilizado para referir-se a alimentos ou ingredientes isolados que fornecem benefícios fisiológicos específicos que podem melhorar a saúde – têm claramente despertado o interesse da indústria alimentícia a partir do final dos anos 90 (MAZZA, 1998).

O termo “alimentos funcionais” foi inicialmente proposto no Japão, em meados de 1980, principalmente em função de uma população sempre crescente de idosos e da preocupação, tanto da população em geral como do governo, com a prevenção das doenças crônicas e degenerativas (SGARBIERI e PACHECO, 1999).

Uma definição abrangente de alimento funcional seria qualquer alimento natural ou preparado pelo homem, que contenha uma ou mais substâncias, classificadas como

nutrientes ou não-nutrientes, capazes de atuar no metabolismo e na fisiologia humana, promovendo efeitos benéficos à saúde, retardando, inclusive, processos patológicos que conduzem a doenças crônicas e/ou degenerativas, melhorando a qualidade e a expectativa de vida das pessoas. São efeitos que vão além da função simplesmente nutricional há muito tempo conhecida, que é a de fornecer energia e nutrientes essenciais em quantidades equilibradas. Para que os efeitos funcionais sejam sentidos, as substâncias funcionais devem estar presentes nos alimentos em concentrações adequadas (SGARBIERI e PACHECO, 1999).

Dentre os componentes dos alimentos com funcionalidade fisiológica pode-se citar, entre os nutrientes: os polissacarídeos, como a fibra; os ácidos graxos poliinsaturados da família ômega-3, como o EPA (ácido eicosapentaenóico) e o DHA (ácido docosahexaenóico); algumas vitaminas; minerais essenciais; proteínas e peptídeos, e, entre os não-nutrientes: os oligossacarídeos; os flavonóides, como as isoflavonas da soja; os carotenóides, como o licopeno do tomate; os fitosteróis; as bactérias lácticas; compostos organosulfurados; compostos fenólicos; limonóides e substâncias indólicas (SGARBIERI e PACHECO, 1999; LAJOLO, 2001).

2.3 FIBRAS

2.3.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

O termo “fibras” abrange uma grande variedade de substâncias com diferentes propriedades físicas, químicas e fisiológicas. Portanto, é difícil chegar a uma definição ideal das fibras, embora várias definições tenham sido propostas nos últimos 25 anos (TROWELL et al., 1976; ROBERFROID, 1993).

O conceito de fibras, originalmente definidas como os resíduos não-digeríveis de vegetais, evoluiu durante as últimas duas décadas. Hoje, os nutricionistas classificam as fibras em frações hidrossolúveis e não-hidrossolúveis, e reconhecem a importância da fermentação das fibras no cólon. Recentemente, o conceito de fibras foi ampliado de modo a incluir substâncias semelhantes a elas, como a inulina, frutooligossacarídeos e amido resistente. Assim, as fibras contêm diversos compostos com diferentes propriedades físicas e químicas, sendo que tipos específicos de fibras podem proporcionar benefícios específicos para a saúde (NESTLÉ, 2004).

Os diversos tipos de fibras apresentam as seguintes características em comum:

- Originam-se das plantas (exceto a quitosana);

- São carboidratos ou derivados de carboidratos (exceto a lignina);
- Resistem à hidrólise pelas enzimas digestivas humanas;
- Atingem o cólon intactas e, no cólon, algumas podem ser, pelo menos parcialmente, hidrolisadas e fermentadas pela flora bacteriana do cólon.

Os tipos de fibras são classificados de diversas maneiras, dependendo dos fatores enfatizados (Tabela 1). Como muitos efeitos fisiológicos das fibras parecem se basear em sua hidrosolubilidade, elas são, com freqüência, classificadas como "solúveis" e "insolúveis" (ROBERFROID, 1993; STARK e MADAR, 1994).

Tabela 1. Classificação das fibras

Fibras	Lignina		Não hidrossolúveis ("fibras insolúveis")
	Polissacarídeos "não-amiláceos"	Celulose	
		Hemicelulose (tipo B)	
		Hemicelulose (tipo A) Pectinas Gomas Mucilagens Outros polissacarídeos	Hidrossolúveis ("fibras solúveis")
Substâncias semelhantes às fibras	Inulina		Hidrossolúveis em sua maioria
	Frutooligossacarídeos		
	Amido resistente		
	Açúcares não absorvidos		

Fonte: NESTLÉ (2004).

2.3.2. PROPRIEDADES FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS

Estudos experimentais têm examinado os efeitos fisiológicos de vários tipos de fibras e substâncias semelhantes a elas. Os efeitos relatados variam desde a modulação da função gastrointestinal e morfologia a alterações do metabolismo de nutrientes e aumento das respostas imunológicas. Alguns destes efeitos resultam das ações mecânicas das fibras no trato alimentar. Outros derivam da interação das fibras com a água, minerais e compostos orgânicos no quimo intestinal. Muitos efeitos adicionais são

conseqüências da fermentação no cólon, que influenciam na ecologia intestinal e geram produtos finais fisiologicamente ativos (NESTLÉ, 2003).

Um consumo elevado de fibras está associado à prevenção e tratamento de algumas doenças, como câncer de cólon, diabetes, obesidade, doenças coronárias e gastrintestinais (THEBAUDIN et al., 1997; ANDERSON; SMITH e GUSTAFSON, 1994; GRIGELMO-MIGUEL e MARTIN-BELLOSO, 1999; LARIO et al., 2004). Os efeitos fisiológicos dependem do tipo de fibra, solúvel ou insolúvel.

As fibras solúveis formam uma rede de gel ou uma rede viscosa, em determinadas condições físico-químicas, e desta forma ligam água, o que aumenta a capacidade de retenção de água e a absorção lipídica. Elas são vistas como substratos fermentativos, podem modificar a microflora e levar a uma redução ou modificação de agentes mutagênicos (THEBAUDIN et al., 1997). A viscosidade está associada com o esvaziamento gástrico demorado; a fibra modifica a passagem no intestino, diminuindo a taxa de absorção de glicose, lipídios e esteróis (GORINSTEIN et al., 2001).

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

A constipação intestinal não é uma doença, mas sim, um sintoma, e uma das queixas gastrintestinais mais prevalentes. Pode representar a manifestação de vários distúrbios (ANDRE; RODRIGUEZ e MORAES-FILHO, 2000). Portanto, a inclusão de fibras na dieta é necessária para manter a função do trato gastrintestinal normal (CHO; CLARK e URIBE-SAUCEDO, 2004). Os efeitos fisiológicos dependem do tipo da fibra. As fibras solúveis incorporam água rapidamente e são facilmente decompostas no intestino grosso. Entre 70% a 90% da quantidade ingerida é intensamente decomposta pelas bactérias do cólon. As fibras insolúveis têm menor capacidade de incorporação de água que as fibras solúveis e são difíceis de serem degradadas pelas bactérias, sendo por isso eliminadas praticamente intactas. Atuam nas porções distais por serem pouco digeridas no cólon, mantendo o volume líquido até a evacuação. No intestino grosso, as fibras são responsáveis pelo aumento do bolo fecal e diminuição da sua consistência; diminuem o tempo de trânsito intestinal e diminuem a pressão no interior do cólon (ANDRE; RODRIGUEZ e MORAES-FILHO, 2000).

Os seguintes mecanismos têm sido propostos para a ação das fibras como agentes protetores contra o câncer de cólon: as fibras insolúveis aumentam o volume do bolo fecal, portanto diluem o seu conteúdo, o que diminui a interação entre a mucosa intestinal e qualquer componente carcinogênico presente nas fezes. As fibras insolúveis reduzem o tempo de trânsito intestinal, evitando que agentes mutagênicos presentes nas fezes interajam com o epitélio intestinal (THEBAUDIN et al., 1997; CHO; CLARK e URIBE-SAUCEDO, 2004). Além disso, a fibra alimentar pode modular a carcinogênese pela formação de produtos de fermentação no cólon, os ácidos graxos de cadeia curta (SCFA = “short chain fatty acids”), particularmente o butirato, reportado como sendo o substrato preferido pelas células epiteliais colônicas (CHO; CLARK e URIBE-SAUCEDO, 2004).

As fibras solúveis têm sido relacionadas com a redução dos níveis de glicose no sangue, devido à diminuição da digestão e absorção de carboidratos (CHAU e HUANG, 2004). Quando fibras solúveis são adicionadas à dieta, a difusão da glicose no sangue é mais lenta, e posteriormente a secreção da insulina é diminuída (SLAVIN, 2005). O consumo de dietas ricas em fibras ajuda na prevenção de diabetes, porque as fibras melhoram o controle glicêmico, aumentam a sensibilidade à insulina, diminuem os lipídios séricos, diminuem a pressão sanguínea e ajudam na manutenção do peso corporal. Em um estudo realizado com indivíduos diabéticos, 67% melhoraram o controle glicêmico e diminuíram o nível de colesterol, e 22% não verificaram mudança alguma (ANDERSON; SMITH e GUSTAFSON, 1994).

O uso rotineiro de alimentos ricos em fibras reduz o risco da obesidade e ajuda na perda e manutenção do peso, pois estes alimentos tendem a ser ricos em carboidratos e baixos em gorduras. Isso acontece pela interação dos seguintes mecanismos: as fibras têm baixa energia calórica, precisam de mais tempo para ser digeridas e retardam o esvaziamento gástrico, o que aumenta a sensação de saciedade. As fibras também diminuem as concentrações da insulina no soro sanguíneo, provocando uma redução na ingestão de alimentos, pois a insulina estimula o apetite (ANDERSON; SMITH e GUSTAFSON, 1994).

Elevadas concentrações de colesterol no soro sanguíneo, particularmente o colesterol LDL, são o maior risco das doenças coronárias. A ingestão elevada de fibra solúvel aumenta os efeitos relacionados com a diminuição do colesterol no sangue (ANDERSON; SMITH e GUSTAFSON, 1994; GORINSTEIN et al., 2001; CHANG et al., 2002). Foi proposto que a absorção de sais biliares pelas fibras resulta em mudanças no

metabolismo do colesterol, levando a perdas do colesterol do corpo. Primeiramente, uma excreção aumentada de ácidos biliares aumenta a síntese destes ácidos a partir do colesterol. Segundo, a não disponibilidade de sais biliares no intestino para a formação de micelas, também inibiria a absorção de lipídeos e do colesterol. Como as fibras aumentam o bolo fecal, diluem os ácidos biliares no trato intestinal inferior. Além disso, os produtos da fermentação bacteriana de fibras solúveis têm um papel importante no metabolismo dos lipídios. Os ácidos graxos de cadeia curta (SCFA), especialmente o ácido propiônico, têm sido colocados por vários pesquisadores como responsáveis pela inibição da síntese do colesterol hepático (THEBAUDIN et al., 1997).

2.3.3 RECOMENDAÇÕES DE CONSUMO DE FIBRAS

Na década de 1970, foi levantada a hipótese de que uma baixa ingestão de fibras teria uma grande influência entre os fatores causadores de doenças nos países ocidentais. Desde então, pesquisas têm revelado muitos benefícios das fibras para a manutenção da saúde e prevenção de doenças e como um componente da terapia nutricional médica. Como resultado disto, a maioria dos profissionais da saúde, atualmente, enfatizam a importância do consumo de uma generosa quantidade de fibras de várias fontes (ANON, 1997).

A ADA (“American Dietetic Association”) recomenda o consumo de 20-35 g fibras/dia por adultos (OHR, 2004). Este nível é considerado eficaz e seguro e é quase o dobro da ingestão usual nos países ocidentais. Uma dieta normal e variada inclui cerca de 30-50% de fibras solúveis e 50-70% de fibras insolúveis, e os nutricionistas recomendam estas proporções à população em geral (ANON, 1997; GRIGELMO-MIGUEL e MARTIN-BELLOSO, 1999; GORINSTEIN et al., 2001).

Quanto à ingestão de fibras por crianças, Williams, Bollella e Wynder (1995) desenvolveram uma nova recomendação baseada na idade da criança, benefícios para a saúde e segurança. Recomendaram que crianças maiores de 2 anos consumissem uma quantidade mínima de fibra alimentar equivalente a sua idade mais 5 g/dia. Sugere-se que uma faixa segura para a ingestão de fibras por crianças se encontre entre sua idade mais 5 g/dia até sua idade mais 10 g/dia. Acredita-se que esta faixa seja segura mesmo se a ingestão de algumas vitaminas e minerais é marginal; e deve fornecer fibras suficientes para uma evacuação normal, podendo ainda prevenir doenças crônicas futuras.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) recomenda a ingestão de 25 gramas de fibra alimentar por dia para uma dieta de 2000 kcal (ANVISA,

2003) e descreve dois termos para rotulagem referentes ao teor de fibras – “fonte de fibras” ou “alto teor de fibras”. O primeiro equivale a um valor mínimo de 3 g de fibras por cada 100 g de produto sólido, enquanto que o segundo equivale a um valor mínimo de 6 g de fibras por cada 100 g de produto sólido (ANVISA, 1998).

2.3.4 FONTES

Os cereais compõem aproximadamente 35-60% do consumo diário de fibra total nos países desenvolvidos, enquanto que as frutas e vegetais contribuem com somente 7-15% (GRIGELMO-MIGUEL e MARTIN-BELLOSO, 1999). A maioria dos cereais é rica em fibra insolúvel, enquanto que as frutas e vegetais contêm mais fibra solúvel (THEBAUDIN, 1997; GRIGELMO-MIGUEL e MARTIN-BELLOSO, 1999; FIGUEROLA et al., 2005). Na Tabela 2, encontram-se as fontes das diferentes frações de fibras.

As fibras de cereais são mais freqüentemente utilizadas que as de frutas, entretanto, as fibras de frutas apresentam maiores conteúdos de fibra solúvel, capacidades de ligação de água e de óleo e fermentação colônica, assim como menores teores de ácido fítico e valor calórico (LARRAURI, 1999).

Tabela 2. Fontes de fibras e substâncias semelhantes às fibras

Fração de fibras	Fonte
Lignina	paredes de células de plantas maduras, por exemplo, grãos integrais, ervilhas, cenouras, aspargos
Celulose	paredes de células de plantas, por exemplo, camadas de farelo de cereais, frutas (cascas), sementes, polpa de madeira
Hemicelulose	paredes de células de plantas, por exemplo, grãos integrais (trigo, centeio), alimentos amiláceos, soja
Pectinas	paredes de células de plantas (especialmente maçã e cascas de frutas cítricas)
Gomas, β -glucanas	farelo de aveia, farinha de aveia, farelo de cevada
Mucilagens	sementes, algas marinhas
Inulina	raiz de chicória, tubérculos de alcachofra de Jerusalém, cebola, alho, alho-poró, banana, tomate, doces de trigo, massas
Frutooligossacarídeos (oligofrutose)	mesmas fontes da inulina também produzidos a partir da inulina ou sintetizados

Fonte: Nestlé (2004).

Fontes convencionais de fibras incluem os alimentos “in natura” que as contêm em quantidades substanciais (frutas, verduras, grãos); as farinhas integrais de cereais (farinha de trigo integral, farinha de centeio) e algumas fibras separadas no processamento de grãos, como o farelo de trigo e a fibra de soja, utilizadas no enriquecimento de alimentos.

Já existem no mercado ou têm sido estudadas algumas fontes alternativas de fibras, como as fibras de beterraba, laranja, manga, maçã, batata, couve-flor, limão, e a quitosana (GUILLON; BARRY e THIBOULT, 1992; LARRAURI et al., 1996; FEMENIA et al., 1997; GRIGELMO-MIGUEL e MARTIN-BELLOSO, 1999; LARRAURI, 1999; GORINSTEIN et al., 2001; LARIO et al., 2004; FIGUEROLA et al., 2005).

Segundo Larrauri (1999), para que uma fibra seja classificada como “a fibra ideal” deve cumprir com os seguintes requerimentos: ter os efeitos fisiológicos esperados; estar tão concentrada quanto possível, de tal modo que quantidades mínimas utilizadas consigam um máximo efeito fisiológico; ter uma composição balanceada com respeito às frações de fibra solúvel e insolúvel; ter adequadas quantidades de compostos bioativos associados (flavonóides, polifenóis, carotenos, etc.); não possuir componentes anti-nutricionais; causar uma boa impressão aos olhos do consumidor; ser suave em sabor, cor, textura e odor; ter vida-de-prateleira aceitável para não afetar o alimento ao que será adicionado; ser compatível com processos tecnológicos e ter custo razoável.

As principais características das fibras comerciais são: conteúdo de fibra total acima de 50%, umidade relativamente baixa (menor que 9%), baixo conteúdo de lipídeos, baixo conteúdo calórico (menor que 8,36 kJ/g ou menor que 2 kcal/g) e aroma e sabor neutros (LARRAURI, 1999).

2.4 MARACUJÁ

A indústria de sucos no Brasil é de grande importância, em especial a de sucos cítricos, tanto para o mercado interno, como para a exportação. Além disso, vem se diversificando na produção de sucos e polpas de frutas tropicais, tais como maracujá, goiaba, abacaxi, caju, graviola e outros.

A fruta maracujá, nome indígena originado de “mara-cuiá” ou comida preparada em cuia, pertence a diversas plantas do gênero “*Passiflora*”, da família “*Passifloraceae*”, famosa na literatura mundial por suas flores terem inspirado poetas e pensadores que nelas viram simbolizada a Paixão de Jesus Cristo; daí o nome desta fruta em língua inglesa: “passion fruit” (ITAL, 1980).

O maracujá (*Passiflora edulis Sims*), fruta nativa do Brasil, é bem conhecido por seu suco atrativo, possuindo um sabor único e exótico (PRUTHI, 1963). É uma planta trepadeira com gavinhas e folhas alternas, de clima tropical com ampla distribuição geográfica. O fruto é uma baga geralmente esférica, lisa, amarela, com diâmetro de até 10 cm e peso máximo de 190 gramas, contendo várias sementes (200-300) (EMBRAPA, 2004; HORTIFRUTIGRANJEIROS, 2004; NEGÓCIOS NO PARÁ, 2004).

A cultura do maracujá está em franca expansão, tanto para a produção de frutas para consumo "in natura", como para a produção de suco. O Brasil é o primeiro produtor mundial de maracujá, tendo produzido 478.652 toneladas em 2002. A distribuição da produção por região geográfica encontra-se na Tabela 3 (IBGE, 2004).

Tabela 3. Quantidade de maracujá produzido no Brasil por região geográfica em 2002

Brasil e região geográfica	Toneladas
Brasil	478.652
Norte	35.753
Nordeste	207.464
Sudeste	196.037
Sul	19.450
Centro-Oeste	19.948

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2004)

A casca da fruta é grossa, de textura coriácea e pode ser amarela ou vermelha. A polpa, a parte comestível do maracujá, é formada por sementes pretas cobertas de uma substância amarela e translúcida, ligeiramente ácida e de aroma acentuado. O suco de maracujá pode ser consumido como refresco ou ser empregado no preparo de pudins, sorvetes, geléias, compotas, etc. (HORTIFRUTIGRANJEIROS, 2004).

O maracujá apresenta em sua composição aproximadamente 51% de casca; 20% de sementes e 28% de suco. A água é o principal componente do suco de maracujá. Os carboidratos totais (13-18%) correspondem à maior parte dos sólidos do suco de maracujá e são responsáveis pelo teor calórico deste produto. Contém também elevado teor de ácidos e o pH e a acidez total do suco de maracujá variam de 2,7 a 3,3, e de 3,0% a 5,0%, respectivamente. Possui cálcio, fósforo, potássio, vitaminas A, B1, B2 e C, e também uma substância alcalóide, chamada passiflorina ou maracujina, que tem propriedades sedativas, mas não é prejudicial, pois não causa dependência e está

presente em todas as suas partes, principalmente nas folhas. O fruto do maracujá contém compostos cianogênicos, mas quando completamente maduro, estes componentes encontram-se em concentrações mais reduzidas (EMBRAPA, 2004; HORTIFRUTIGANJEIROS, 2004; NEGÓCIOS NO PARÁ, 2004).

2.4.1 FARELO DE MARACUJÁ

O farelo de maracujá é, comumente, obtido no processo de extração da polpa de maracujá, segundo o fluxograma descrito na Figura 1.

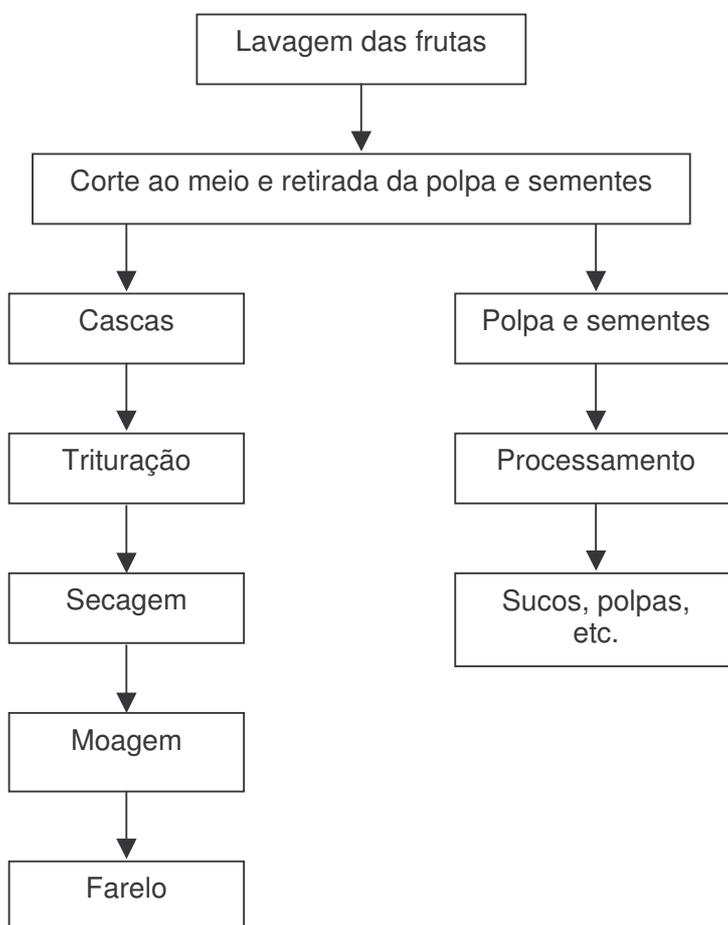


Figura 1. Fluxograma do processo de extração da polpa de maracujá e obtenção do farelo

Segundo Pruthi (1963), na produção de sucos, os frutos fornecerão de 65 a 70% de seu peso como cascas e sementes.

Na extração de suco de maracujá, enormes quantidades de materiais sobram na indústria como resíduos, cuja composição química e valor nutritivo os tornam aptos a constituir a base para utilizações complementares. As cascas, depois de moídas ou picadas em pequenos pedaços, podem ser desidratadas. A composição química das cascas do maracujá desidratadas, conforme relatada por vários autores, revela que elas têm baixo teor de extrato etéreo (0,35 - 0,50% b.s.), teor considerável de proteína (4 - 5% b.s.) e matéria mineral (6 - 7% b.s.) e teores altos de carboidratos e fibras (26% b.s. de fibra bruta e 60 - 70% de fibra alimentar), sendo fontes atrativas de pectina (20 - 27% b.s.) Geralmente é utilizada em ração animal, mas a sua composição química indica a possibilidade de utilização na recuperação de pectina (OTAGAKI e MATSUMOTO, 1958; ITAL, 1980; MATSUURA, 2005). No farelo de maracujá (cascas), foram também encontrados compostos fenólicos na faixa de aproximadamente 1,78% a 2,47%, em base úmida (80% de umidade) (PRUTHI, 1963).

Diferentes pesquisadores utilizaram a casca de maracujá no desenvolvimento de produtos. Lira (1995) estudou o aproveitamento da casca do maracujá amarelo como fonte de pectina para a produção de geléia. Holanda (1991) também utilizou as cascas do maracujá para a obtenção de um material pectínico na fabricação de doces e geléias. O material pectínico obtido apresentou um conteúdo de pectina relativamente alto (17%) e as características físicas do gel foram aceitáveis. Matsuura (2005) avaliou a viabilidade de aproveitamento do albedo de maracujá em formulações de barras de cereais, com teor de albedo de maracujá de 0 a 20%, visando o desenvolvimento de um produto com maior teor de pectina. Lopes (2006) desenvolveu um produto de panificação à base de farinha de trigo com adição de fibra de casca de maracujá e sal hipossódico. Nas formulações foram utilizadas 3, 4 e 5% de fibras de casca de maracujá. Os pães foram avaliados por 20 provadores, sendo os pães com 3% de fibra os mais aceitos.

2.4.2 COMPOSTOS CIANOGENICOS NO MARACUJÁ

Vários pesquisadores confirmaram a presença de compostos cianogênicos no maracujá (SPENCER e SEIGLER, 1983; CHASSAGNE et al., 1996). O ácido cianídrico (HCN) nas plantas é geralmente liberado de seus glicosídeos cianogênicos (GC). Aproximadamente 75 GC já foram identificados em plantas, incluindo plantas comestíveis como a mandioca, o sorgo e o maracujá (CHASSAGNE et al., 1996).

No maracujá, Spencer e Seigler (1983) encontraram teores de compostos cianogênicos na faixa de 6,5 a 59,4 mg de HCN por cada 100 g de fruto fresco. Estes

mesmos autores identificaram o glicosídeo cianogênico prunasina [2(R)-(β-D-glucopiranosil)-2-fenilacetoneitrila] nos frutos. Outros autores identificaram, além deste glicosídeo, outros tipos, como a sambunigrina e a amigdalina, encontrando na casca de maracujá teores na faixa de 5,6 a 15,7 e 1,4 a 19,6 mg/kg, respectivamente (CHASSAGNE et al., 1996). Segundo esses autores, o glicosídeo cianogênico mais importante presente no maracujá é a prunasina, que representa 80% dos compostos cianogênicos. Eles relataram que todas as partes do fruto, exceto as sementes, são tóxicas no maracujá imaturo. Os autores citados concluíram que há influência do estágio de maturação da fruta na quantidade dos compostos cianogênicos, sendo menor em frutos maduros, embora ainda estejam presentes em proporções significativas. A maturação favorece a redução desses compostos pela ação de enzimas próprias da fruta (CHASSAGNE et al., 1996). Spencer e Seigler (1983) verificaram uma diminuição dos teores dos compostos cianogênicos na casca de maracujá triturada e seca, provocada, segundo eles, pela mistura dos glicosídeos cianogênicos com a enzima β-glicosidase, que os hidrolisa. No entanto, é recomendável determinar os níveis de HCN durante o processamento (SPENCER e SEIGLER, 1983).

Matsuura (2005) avaliou diferentes formas de processamento de albedo de maracujá amarelo, envolvendo o cozimento, para a eliminação de compostos cianogênicos. Ele observou que o cozimento do albedo sob pressão reduziu de forma rápida o teor de compostos cianogênicos, com teores residuais superiores a 10 ppm, entretanto o cozimento em água em ebulição, em pressão atmosférica, por tempo prolongado (120 minutos) reduziu os teores de compostos cianogênicos do albedo a níveis inferiores a 10 ppm. O autor concluiu que o processo de imersão do albedo branqueado em salmoura seguida de cozimento em água em ebulição, em pressão atmosférica, provocou elevada redução dos teores desses compostos, sendo o processo mais eficaz para sua eliminação.

2.5 PROCESSO DE EXTRUSÃO

A extrusão é simplesmente uma tecnologia de cocção alternativa que opera em base contínua para a conversão de formulações densas, à base de grãos, em produtos leves e crocantes, que os consumidores consideram prazerosos e nutritivos. Entretanto, em geral, os grãos nas fórmulas de cereais extrusados expandidos encontram-se na forma de farinha ou farelo (FAST e CALDWELL, 2000).

No processo de extrusão termoplástica ocorrem simultaneamente diversos processos, como a mistura, o cisalhamento, o cozimento e o modelamento. Sendo assim, a matéria-prima processada é submetida a diversas mudanças, entre as quais destacam-se: hidratação de amidos e proteínas, homogeneização, gelatinização do amido, liquefação de gorduras, desnaturação de proteínas, destruição de fatores anti-nutricionais, inativação de enzimas, diminuição microbiana, plastificação e expansão do material processado para criar novas formas e texturas (EL-DASH, 1981; MERCIER e CANTARELLI, 1986; FELLOWS, 2000).

Na área de alimentos, o processo de extrusão termoplástica, considerado também como um processo HTST (High-Temperature, Short-Time), possibilita, com pouca ou nenhuma modificação dos equipamentos básicos e um controle apropriado do processo, a produção de uma grande variedade de produtos: cereais matinais, “snacks”, amidos modificados, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, produtos cárneos e rações animais (EL-DASH, 1981; CAMIRE; CAMIRE e KRUMHAR, 1990; CHANG et al., 2001). Esta técnica tem sido amplamente utilizada com matérias-primas como milho, trigo, arroz e, especialmente nos últimos anos, com soja (KADAN e PEPPERMAN, 2002; CHANG et al., 2001).

O extrusor é composto de cinco partes principais: um mecanismo de alimentação, que pode ser vertical ou horizontal; uma rosca ou um parafuso sem fim, que transporta a matéria-prima; um cilindro ou canhão, que serve para controlar a temperatura; a matriz, que modela o produto na forma desejada, e um mecanismo de corte, essencial para a formação do produto extrusado (EL-DASH, 1981).

A matéria-prima que entra no processo é convertida em uma massa fundida, devido às altas pressões e o grande cisalhamento, em temperaturas elevadas, dentro do extrusor, o que mantém a água em estado líquido. Quando essa massa sai pela matriz do extrusor, ao final do cilindro ou canhão, a água líquida supersaturada se vaporiza instantaneamente, devido à mudança de pressão, passando o produto de uma massa fundida a um produto poroso, após a sua solidificação à temperatura ambiente (AREAS, 1992).

Vários pesquisadores têm estudado o efeito do processo de extrusão termoplástica sobre o amido. A maioria dos tratamentos térmicos em produtos amiláceos causa modificações físico-químicas nos grânulos de amido e seus constituintes, o que conduz a mudanças na textura e nas propriedades reológicas, além de deixar os produtos mais digeríveis e disponíveis (CHEFTEL, 1986). O amido é o maior componente dos cereais

(40-90% b.s.), está presente nas células do endosperma, é insolúvel em água fria e sua principal propriedade nutricional é a de fornecer energia (4,4 kcal/g) (CHEFTEL, 1986; CALDWELL et al., 2000). O grânulo de amido consiste de dois diferentes tipos de polímeros de glicose: amilose e amilopectina, responsáveis por suas propriedades físico-químicas e funcionais (BORNET, 1993; CALDWELL et al., 2000). A amilose é um polímero basicamente linear, com ligações glicosídicas lineares α -1-4 e grau de polimerização de 600 até 6000 unidades de glicose. A amilopectina é um polímero ramificado, com ligações glicosídicas lineares α -1-4 e, nos pontos de ramificação, ligações glicosídicas α -1-6, em uma proporção de 5-6%; consiste de aproximadamente 10^6 unidades de glicose. O amido contém diferentes proporções de amilose e amilopectina, dependendo de sua origem botânica. O amido de cereais tem um conteúdo de amilose que varia de 15 a 28% (BORNET, 1993).

A extrusão termoplástica, dependendo das condições do processo e da composição da matéria-prima, causa o intumescimento e ruptura do grão de amido, destruindo completamente a estrutura organizada do grânulo, diminuindo a viscosidade do meio e liberando amilose e amilopectina (EL-DASH, GONZALES e CIOL, 1983; CAMIRE; CAMIRE e KRUMHAR, 1990). Alguns pesquisadores determinaram, com a análise da viscosidade e do peso molecular após a extrusão termoplástica, que a amilose e a amilopectina são parcialmente hidrolisadas em maltodextrinas, devido às altas temperaturas e à grande força de cisalhamento dentro do extrusor (CHEFTEL, 1985; EL-DASH, GONZALES e CIOL, 1983).

Atualmente, processos termomecânicos, como a extrusão, estão sendo aplicados com o objetivo de melhorar as propriedades funcionais das fibras e incrementar seu nível de incorporação nos alimentos (ARTZ; WARREN e VILLOTA, 1990; CHANG et al., 2001; RUEDA; CHANG e MARTINEZ-BUSTOS, 2004).

Pesquisas têm mostrado que o cozimento de fibras por extrusão pode produzir mudanças em suas características estruturais e propriedades físico-químicas, sendo o efeito principal uma redistribuição da fibra insolúvel para fibra solúvel (CAMIRE; CAMIRE e KRUMHAR, 1990; GUILLON; BARRY e THIBAUT, 1992; LARREA; CHANG e MARTÍNEZ-BUSTOS, 2005).

Larrea (1999) concluiu, em sua pesquisa, que o processamento de polpa de laranja por extrusão ocasionou uma marcada redistribuição da fibra insolúvel para fibra solúvel, diminuindo o conteúdo de fibra insolúvel de 54,81% para 39,06%, e aumentando os teores de fibra solúvel de 20,06% até níveis de 81,35%.

Gourge et al. (1994) aplicaram o processo de extrusão, sob condições rigidamente controladas, para estudar os efeitos do processo nas características físico-químicas das cascas de laranja e de limão. Foi observado que o tratamento por extrusão incrementou a fração solúvel da fibra alimentar. A viscosidade aparente do extrato aquoso da fibra extrusada foi incrementada levemente para a fibra de laranja e marcadamente para a fibra de limão. Eles verificaram que após o tratamento de extrusão das cascas de laranja e limão, os conteúdos de fibra insolúvel abaixaram de 54% a 39,17% e de 47,94% a 33,66%, respectivamente. No mesmo estudo, foi reportado que o processo de extrusão alterou os conteúdos de fibra solúvel. Os valores foram aumentados de 10,19% a 22,46%, no caso das cascas de laranja, e de 28,09% a 37,67%, no caso do limão.

Fornal, Soral-Smietana e Szpenelowski (1987) e Wang, Klopfenstein e Ponte (1993) reportaram diminuições nos conteúdos de fibra insolúvel em amostras de farinha de trigo e farelo de trigo, assim como em trigo e cevada, após o processo de extrusão, com conseqüente incremento no conteúdo de fibra solúvel. Os pesquisadores concluíram que esse efeito seria o resultado da quebra de ligações covalentes e não-covalentes entre carboidratos e proteínas associados à fibra, resultando em menores fragmentos moleculares, que seriam mais solúveis.

2.5.1 CEREAIS MATINAIS EXTRUSADOS

Cereais matinais têm sido definidos como “grãos processados para o consumo humano”. A indústria de cereais matinais, nos Estados Unidos, apareceu no começo no século XX e tem crescido rapidamente nos últimos anos, fazendo dos cereais matinais produtos economicamente viáveis importantes. O consumo doméstico aumentou 2% a cada ano durante 1974 e 1985. Já para os anos de 1983 a 1985, o mercado de cereais matinais aumentou a uma taxa de 3,3%, e nos últimos anos essa taxa tem aumentado drasticamente (FAST, 1987). De 1987 a 1992, o crescimento foi de aproximadamente 150% (GRIDER, 1996).

No Brasil, a taxa de crescimento do mercado de cereais matinais tem aumentado rapidamente nos últimos 10 anos. Segundo a pesquisa de tendências realizada pela AC NIELSEN (2004), a taxa de crescimento entre os anos 1994 e 2003 foi de 272,3%. O mercado de cereais matinais em 2003 foi de aproximadamente 17 mil toneladas e com um faturamento de 82 milhões de dólares. É importante assinalar que o faturamento anual de 2003 apresentou um incremento de 2,1% em relação a 2002, embora houvesse uma diminuição no volume de 0,6% em relação ao mesmo ano. Esse mercado de

aproximadamente 83 milhões de dólares anuais pode ser considerado muito atrativo para as diferentes indústrias e marcas no mercado brasileiro.

Atualmente, o segmento com maior participação de mercado são os cereais matinais açucarados, com uma participação de 40,7% (em volume) e um faturamento de 34,3% do valor total. Os cereais matinais “multi-ingredientes” e com sabor chocolate apresentam uma participação de mercado em volume de 20,3% e 20,1%, respectivamente. No entanto, a participação em valores é maior para os cereais de chocolate, com 23,3%, em comparação com 22,1% dos “multi-ingredientes”. Os cereais com fibras possuem, atualmente, uma participação de mercado de 3,4% em volume, com tendência a crescimento (AC NIELSEN, 2004), pois existem novos segmentos de compra por parte dos consumidores, mais preocupados com a saúde.

Processos básicos de produção de cereais matinais incluem a produção de flocos e a expansão por pistola (“gun puffing”) ou em forno (“oven puffing”). Estes processos convertem grãos crus e densos ($7,7 \text{ kg}/100 \text{ cm}^3$) em produtos friáveis, crocantes ou mastigáveis, adequados para a alimentação humana, com densidade aparente na faixa de $0,6$ a $1,6 \text{ kg}/100 \text{ cm}^3$ (FAST e CALDWELL, 2000). A extrusão termoplástica, conhecida como uma tecnologia industrial eficiente e versátil, é atualmente utilizada na produção de cereais matinais (CHEFTEL, 1986; ROKEY, 1995). Esta tecnologia apresenta várias vantagens sobre os processos convencionais na produção de cereais matinais: menor tempo e custo de processo; menor espaço físico necessário; maior flexibilidade para a produção de produtos variados, mudando simplesmente a matriz, as condições de processo, a formulação inicial e a cobertura final do produto, e a granulometria da matéria-prima (HUANG, 1998; BAILEY et al., 1991; RIAZ, 2002).

Os cereais mais utilizados na formulação de cereais matinais extrusados são o arroz, o trigo, a aveia e o milho (FAST, 1987; RIAZ, 2002; DANDY e DOBRASZCZYK, 2001). Nas formulações dos cereais matinais extrusados podem ser usadas misturas destes cereais, na forma de farinha, grits, farinhas integrais, assim como também podem ser misturados com outros ingredientes, para variar a aparência, textura, sabor, aroma e outras características dos produtos (RIAZ, 2002).

Os cereais matinais fazem contribuições nutricionais específicas na dieta das pessoas. Podem ser considerados fontes de proteína, embora as proteínas dos cereais sejam incompletas devido ao limitante de certos aminoácidos essenciais como a lisina. Muitas vezes são formulados com vários tipos de cereais diferentes e são consumidos com leite, o que ajuda a completar a ingestão de lisina e outros aminoácidos essenciais.

Quando produzidos com farinhas de grãos integrais, podem ser considerados como fontes de ácidos graxos, pois os germes e farelos dos cereais são fontes importantes de ácidos graxos essenciais como a ácido linolênico, além de conter antioxidantes e propriedades benéficas para reduzir o colesterol. Eles também são fontes importantes de fibras, já que está reportado que os cereais matinais aportam entre 2 e 5 gramas de fibra por porção consumida. Os cereais matinais são fontes de vitaminas e minerais, pois os grãos contêm quantidades significativas de vitaminas do grupo B, tocoferóis, e minerais como ferro, zinco e cobre, além de normalmente serem consumidos com leite ou iogurte, considerados fontes importantes de cálcio (JONES, 2001).

Os cereais matinais podem contribuir significativamente na dieta humana por serem fáceis de preparar ou estocar, além de ter sabor e textura atrativos, tanto para crianças como para adultos. Tem sido reportado que a média de crianças que consomem cereais matinais tem uma ingestão mais apropriada de nutrientes do que as crianças que não os consomem (EL-DASH, 1981).

Clark (1980) reportou uma comparação entre a contribuição de nutrientes ingeridos de cereais prontos para o consumo e cereais não prontos para o consumo no café da manhã e concluiu que as pessoas que consomem cereais matinais prontos para o consumo ingerem quantidades significativamente ($p < 0,01$) maiores de proteínas, vitaminas e minerais. Em contraste, a ingestão de gordura, colesterol e sódio foi significativamente menor ($p < 0,05$) quando consumidos cereais matinais prontos para o consumo. Em outro estudo também foi observado resultados similares, onde foi concluído que crianças entre 5 e 12 anos que consomem cereais matinais três ou mais vezes por semana, consomem quantidades significativamente menores de gordura e colesterol e quantidades maiores de fibra, vitaminas (A, B e D), do que crianças que não consomem cereais matinais (JONES, 2001) e pessoas de todas as idades consumindo esses produtos apresentaram ingestões maiores de vitaminas e minerais diárias e uma ingestão maior de carboidratos complexos e menor de gordura e colesterol (ZABIK, 1987; BARTON et al., 2005), mostrando também uma tendência na diminuição do IMC (Índice de Massa Corporal) (BARTON et al., 2005). Outros autores reportaram que o consumo de cereais matinais está associado positivamente com o humor e a memória das pessoas, além de que os indivíduos mostraram-se mais calmos no final do período de estudo (SMITH; CLARK e GALLAHER, 1999).

2.6 USO DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

Um dos problemas mais comuns que um pesquisador pode enfrentar é a determinação da influência de uma ou mais variáveis (fatores ou variáveis independentes) sobre uma outra variável de interesse (resposta ou variável dependente). Esquemáticamente, pode-se representar a situação como na Figura 2, onde o número de fatores, F_1, F_2, \dots, F_k , atuando sobre o sistema em estudo, produz as respostas R_1, R_2, \dots, R_j . O sistema é considerado como uma função (desconhecida, em princípio, senão não seriam necessários experimentos) que atua sobre as variáveis de entrada (os fatores) e produz como saída as respostas observadas. O objetivo de quem realiza experimentos é descobrir esta função, ou pelo menos obter uma aproximação satisfatória para ela (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 2003).



Figura 2. Esquema de um sistema em estudo

Planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos possibilitam a obtenção do maior número possível de informações sobre o sistema em estudo através da realização de um número mínimo de experimentos (BARROS NETO et al., 2003).

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) é uma técnica de otimização baseada no emprego de planejamentos experimentais fatoriais.

Sendo a extrusão um processo que envolve inúmeras variáveis, a Metodologia de Superfície de Resposta é muito útil quando pretende-se estudar seus efeitos. Vários pesquisadores têm utilizado a MSR visando à otimização do processo de extrusão para a produção de diferentes produtos (EL-DASH; GONZALES e CIOL, 1983; RHEE; CHO e PRADAHN, 1998; ILHO; LIU e BERGHOFER, 1999; CHANG et al., 2001; RUEDA; CHANG e MASRTINEZ-BUSTOS, 2004).

Chang et al. (2001) utilizaram a MSR para estudar os efeitos dos parâmetros da extrusão termoplástica (umidade inicial da matéria-prima e temperatura de processo) e adição de concentrado protéico de soja no desenvolvimento de “snacks” extrusados à

base de amido de mandioca. Eles concluíram que a maior expansão axial foi obtida utilizando o nível máximo de concentrado protéico e a menor umidade inicial, a uma temperatura média de 140°C, embora níveis maiores de concentrado protéico, acima de 25%, reduziam a expansão radial. O volume específico aumentou conforme aumentava o nível de concentrado e diminuía a umidade, e o maior índice de absorção de água foi obtido quanto utilizados os maiores níveis de umidade e de concentrado protéico, enquanto que diminuindo o concentrado protéico aumentou o índice de solubilidade em água.

Rhee, Cho e Pradah (1998) determinaram as condições ótimas de extrusão com o uso da MSR para misturas de amido de milho e carne de cordeiro magra variando o teor de umidade inicial, velocidade do parafuso e temperatura do processo para analisar a resistência ao cisalhamento dos extrusados. Os autores reportaram que as condições ótimas do processo de extrusão das misturas de amido e carne de cordeiro foram 26,5% de umidade de alimentação, 148 °C de temperatura de processo e 134 rpm de velocidade do parafuso.

Ilho, Liu e Berghofer (1999) usaram a MSR para estudar os efeitos da extrusão termoplástica (temperatura de processo, umidade da matéria-prima, taxa de alimentação e velocidade de rotação do parafuso) e a adição de farinha de amaranto para estudar várias propriedades físicas de produtos extrusados à base de arroz. Eles verificaram que aumentando o conteúdo de amaranto, diminuía o índice de expansão e aumentava a força de corte dos extrusados. Concluíram que os extrusados com expansão e dureza aceitável foram obtidos quando utilizadas faixas de 20 a 40 g de amaranto em 100 g de produto.

Ferreira (2006) utilizou a MSR para avaliar o efeito da adição de farelo de trigo, da temperatura e da umidade nas propriedades físicas e físico-químicas de “snacks” extrusados à base de farinha de milho. Ele concluiu que um aumento no teor de farelo de trigo, na temperatura e na umidade promoveram uma redução no índice de expansão (IE); maiores valores de índice de absorção de água (IAA) foram obtidos para as menores porcentagens de farelo de trigo e maiores valores de umidade, enquanto que o índice de solubilidade em água (ISA) aumentou em função do aumento da temperatura e das porcentagens de farelo de trigo. Em relação à dureza, ele reportou que os extrusados menos duros foram resultantes dos menores valores de umidade e maiores valores de temperatura e porcentagens de farelo de trigo.

Larrea, Chang e Martínez-Bustos (2005) utilizaram a MSR para avaliar o efeito dos parâmetros da extrusão termoplástica (umidade, temperatura e velocidade de rotação do parafuso) em polpa de laranja. Os autores reportaram que o conteúdo de fibra alimentar total da polpa foi reduzido com o aumento da temperatura de processo e redução dos valores de umidade, devido à fragmentação e solubilização de alguns polímeros da polpa de laranja. Eles também observaram que os maiores valores obtidos para a pectina solúvel foram ocasionados pelas temperaturas mais altas de processo e baixas umidades.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 MATÉRIAS-PRIMAS

Para a produção do cereal matinal extrusado foram utilizadas as seguintes matérias-primas:

- a) Farelo de maracujá orgânico: fornecida pelo Sítio Boa Esperança, Guaratinguetá, SP.
- b) Farinha de milho orgânica: doada pela Cooperativa Agropecuária Alto Uruguai Ltda. Cotrimaio, Três de Maio, RS.

3.1.2 REAGENTES

Nas determinações químicas, foram utilizados reagentes de pureza analítica e de acordo com as especificações requeridas pelos métodos empregados.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Para a caracterização da matéria-prima, todas as análises foram realizadas em triplicata, exceto a determinação de cor, que foi feita em quadruplicata, e os teores de fibra alimentar total, insolúvel e solúvel, que foram feitos em duplicata.

3.2.1.1 Composição centesimal

3.2.1.1.1 Umidade

O teor de umidade do farelo de maracujá e da farinha de milho foi determinado em estufa com circulação e renovação de ar, modelo TE 394/2 (TECNAL, Brasil), a $130 \pm 3^\circ\text{C}$, por 1 hora, de acordo com o método nº 44-15A da AACC (AACC, 1995).

3.2.1.1.2 Proteína bruta

O teor de nitrogênio das matérias-primas foi determinado em bloco-digestor e destilador de nitrogênio, modelo TE 036/1 (TECNAL, Brasil), utilizando o método micro-

Kjeldahl com fator de conversão geral de 6,25 para proteínas, de acordo com o método nº 46-13 da AACC (AACC, 1995).

3.2.1.1.3 Lipídios

O teor de gordura das matérias-primas foi determinado em extrator de gordura Soxhlet (QUIMIS, Brasil) utilizando éter de petróleo para a extração, de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (1976).

3.2.1.1.4 Cinzas

O teor de cinzas das matérias-primas foi determinado em mufla, modelo FE 30 (FORNITEC, Brasil), a 550°C, até peso constante, de acordo com o método nº 08-01 da AACC (AACC, 1995).

3.2.1.1.5 Carboidratos

O teor de carboidratos das matérias-primas foi determinado por diferença, subtraindo-se de 100 a somatória dos teores de umidade, proteína, lipídeos e cinzas. O teor de carboidratos totais incluiu a fração de fibra alimentar.

3.2.1.1.7 Teores de fibra alimentar total, insolúvel e solúvel

O teor de fibra alimentar total, insolúvel e solúvel foi determinado por análise enzimática gravimétrica, de acordo com os métodos nº 985.29, nº 991.43 da AOAC (AOAC, 1995), respectivamente.

3.2.1.2 Propriedades físicas

3.2.1.2.1 Granulometria

A granulometria das matérias-primas (farelo de maracujá e farinha de milho) foi determinada pelo método nº 965.22 da AOAC (AOAC, 1995), modificando-se a série de peneiras. Alíquotas de 50 g de amostra foram submetidas à vibração por um período de 20 minutos em agitador de peneiras, modelo 2431 (PRODUTEST, Brasil). Utilizou-se um conjunto de peneiras de 20, 32, 60, 80, 100 mesh e fundo, de peso conhecido. Após o tempo estipulado, foi realizada a pesagem das peneiras com o material retido e foi determinada a distribuição do tamanho das partículas.

3.2.1.2.2 Cor

A cor das matérias-primas foi avaliada instrumentalmente utilizando-se um colorímetro, modelo COLOR QUEST II (HUNTERLAB). A determinação baseou-se nos sistemas CIEL*C*h (representação polar do sistema L*a*b*). No sistema CIEL*a*b*, L* indica luminosidade, que varia de zero (preto) a 100 (branco); enquanto a* e b* representam as coordenadas de cromaticidade, sendo que +a* indica tendência para o vermelho e -a* tendência para o verde; +b* indica tendência para o amarelo e -b* tendência para o azul. No sistema L*C*h, o croma (C*) e o ângulo de tonalidade (h) foram determinados pelas Equações 1 e 2, respectivamente. As condições de teste foram: iluminante D₆₅, ângulo de visão de 10°, calibração “Reflectance Specular Included” (RSIN).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$h_{ab} = \tan^{-1}(b^* / a^*) \quad \text{(Equação 2)}$$

3.2.1.3 Propriedades físico-químicas

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

Para as determinações do ISA e do IAA foi utilizada a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com algumas modificações: 2,5 g de cada amostra foram mantidos em água destilada, a 30 °C, por 30 minutos, com agitação intermitente. As suspensões foram centrifugadas em centrífuga, modelo 204 NR (FANEM, Brasil), a 3000 x g, por 10 minutos. 10 mL do sobrenadante foram colocados em uma placa de Petri de peso conhecido e secos em estufa com circulação e renovação de ar, modelo TE 394/2 (TECNAL, Brasil), a 105°C, por 4 horas, para a determinação do resíduo de evaporação, e o precipitado da centrifugação foi pesado. As Equações 3 e 4 foram utilizadas para a determinação do ISA e do IAA, respectivamente.

$$ISA = \frac{Mre * 3}{Ma(bs)} * 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

$$IAA = \frac{Mrg}{Ma(bs) - Mre * 3} \quad \text{(Equação 4)}$$

onde:

Mre = massa do resíduo de evaporação (g)

Ma= massa da amostra (g), b.s.

Mrg= massa do resíduo de centrifugação (g)

3.2.1.3.2 Índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)

Como os cereais matinais são normalmente consumidos com leite, optou-se por reproduzir a metodologia do ISA e do IAA, com leite. Portanto, para as análises do ISL e do IAL foi utilizada a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com algumas modificações: 2,5 g de cada amostra foram pesados, suspensos e mantidos em leite a 10°C, por 30 minutos, com agitação intermitente. As suspensões foram centrifugadas em centrífuga, modelo 204 NR (FANEM, Brasil), a 3000 x g, por 10 minutos. 10 mL do sobrenadante foram colocados em uma placa de Petri de peso conhecido e secos em estufa a vácuo, modelo TE 395 (TECNAL, Brasil), a 60°C, por 15 horas, para a determinação do resíduo de evaporação, e o precipitado da centrifugação foi pesado. Foi feito um controle (em triplicata) para obter-se a quantidade de sólidos do leite e subtraí-la nos cálculos do resíduo de evaporação para determinação do ISL. As Equações 5 e 6 foram utilizadas para a determinação do ISL e IAL, respectivamente.

$$ISL = \frac{(Mre - Mrc) * 3}{Ma(bs)} * 100 \quad \text{(Equação 5)}$$

$$IAL = \frac{Mrg}{Ma(bs) - [(Mre - Mrc) * 3]} \quad \text{(Equação 6)}$$

onde:

Mre = massa do resíduo de evaporação da amostra (g)

Mrc = massa do resíduo de evaporação do controle (g)

Ma= massa da amostra (g), b.s.

Mrg= massa do resíduo de centrifugação (g)

3.2.1.3.3 Índice de absorção de óleo (IAO)

Para a determinação do IAO foi utilizada a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com algumas modificações: 1,0 g de amostra foi suspensa em 25 mL de óleo de girassol, a 25°C, em tubos de centrifuga de 50 mL, previamente pesados, com agitação intermitente, durante 30 minutos. Depois, a suspensão foi centrifugada em centrífuga, modelo 204 NR (FANEM, Brasil), a 2500 x g, por 10 minutos. O líquido sobrenadante de cada amostra foi descartado, deixando-se os tubos invertidos durante 1 minuto, e o índice de absorção de óleo foi obtido pela divisão do peso do resíduo de centrifugação insolúvel pelo peso da amostra em base seca, segundo a Equação 7.

$$IAO = \frac{M_{rg}}{M_a(bs)} \quad \text{(Equação 7)}$$

onde:

M_a = massa da amostra (g), b.s.

M_{rg} = massa do resíduo de centrifugação insolúvel (g)

3.2.1.4 Propriedades nutricionais

3.2.1.4.1 Índice glicêmico “in vitro” (IG)

Para a determinação do IG foi utilizada a metodologia descrita por Goñi, García-Alonso e Saura-Calixto (1997). As amostras foram passadas por peneiras de 100 mesh. Foram pesados 0,050 g em balança analítica e foram suspensos em 10 mL de tampão HCl-KCl (pH 1,5), sendo homogeneizados por 2 minutos. 0,2 mL de solução de pepsina, contendo 1 mg de pepsina de mucosa gástrica suína (SIGMA) em 10 mL de tampão HCl-KCl (pH 1,5) foram adicionados a cada amostra, seguindo-se com incubação a 40°C, por 60 minutos, a 40 rpm. As amostras foram resfriadas e diluídas a 25 mL pela adição de 15 mL de tampão Tris-maleato (SIGMA). O pH foi ajustado em 6,9 utilizando ácido acético 2 M ou NaOH 0,5 M. Para iniciar a hidrólise do amido, foi adicionado 1 mL de tampão Tris-maleato, contendo 2,6 UI de α -amilase pancreática suína (SIGMA). A reação foi incubada a 37°C e 40 rpm. Uma alíquota de 1 mL foi retirada a cada 30 minutos, de 0 até 3 horas de reação. As alíquotas retiradas foram colocadas em tubos de ensaio e rapidamente colocadas em banho de água fervente por 5 minutos para a inativação da enzima. Após o resfriamento à temperatura ambiente, foram adicionados 1 mL de tampão acetato de

sódio/ácido acético (pH 4,75), previamente preparado, e 30 µL de amiloglicosidase de *Aspergillus niger* (SIGMA), para a digestão de amido residual. As amostras foram incubadas a 60°C, por 45 minutos. A concentração de glicose foi determinada usando um kit de glicose GOD-PAD (LABORLAB) e a leitura da reação de cor foi medida em espectrofotômetro de absorção atômica, modelo DU 70 (BECKMAN), em $\lambda = 505$ nm.

A taxa de digestão da glicose foi expressa como porcentagem de glicose em cada amostra (mg/100 mg de produto) para cada tempo (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos). Construíram-se as curvas de hidrólise (desconsiderando-se o valor no tempo 0) e calcularam-se as áreas embaixo das curvas de hidrólise (ACH). Para o cálculo do índice glicêmico (IG), foi necessário calcular o índice de hidrólise (IH). O IH para cada amostra foi calculado como a relação da ACH de cada amostra e a ACH de pão branco, como reportado por Goñi, García-Alonso e Saura-Calixto (1997), que é utilizado como padrão, e expresso como porcentagem. Finalmente, o IG foi calculado segundo a Equação 8.

$$IG = 39,71 + 0,549 * IH \quad \text{(Equação 8)}$$

onde:

IG = Índice glicêmico (%)

IH = Índice de hidrólise (%)

3.2.1.4.2 Compostos cianogênicos

Para a determinação dos glicosídeos cianogênicos, foi utilizada a metodologia descrita por Bradbury, Egan e Lynch (1991), com algumas modificações. Foi utilizado o método simplificado para a análise de cianeto, usando hidrólise ácida e reagente de cor de ácidos isonicotínico e barbitúrico.

Para a extração dos glicosídeos cianogênicos, 1,5 g de amostra (60 mesh) foram misturados por 5 minutos com 100 mL de ácido sulfúrico 0,1M, centrifugados em centrífuga modelo 204 NR (FANEM, Brasil), a 3000 x g, por 5 minutos, filtrados em papel Whatman nº 1 e acondicionados em balão volumétrico de 100 mL, completado com o mesmo ácido (Solução A). As amostras ficaram armazenadas a 4°C por 12 h (uma noite) para a extração dos glicosídeos cianogênicos e depois foram congeladas por 4 meses.

Para a separação da molécula de glicose da molécula de acetona cianohidrina, 2 mL da Solução A e 2 mL de ácido sulfúrico 4 M foram aquecidos em banho de água em

ebulição, por 50 minutos (Solução B), resfriados até temperatura ambiente e armazenados por um período de 12 h, a 4°C.

Para a liberação do cianeto das cianohidrininas, foram adicionados à Solução B 5 mL de NaOH 3,6 M (Solução C) e, após 10 minutos, 1 mL da Solução C (solução de cianeto alcalino) foi misturado com 7 mL de tampão acetato 0,2 M (pH 5,0) e 0,4 mL de solução de cloramina-T, deixando-se em temperatura ambiente, por 5 minutos. Depois, foram adicionados 1,6 mL de reagente de cor (ácido isonicotínico/ácido barbutírico). Após 60 minutos, foi feita a leitura em espectrofotômetro de absorção, modelo DU 70 (BECKMAN), a $\lambda = 600$ nm. A leitura foi feita contra um branco de água destilada. Para a determinação dos compostos cianogênicos, foi feita uma curva padrão, utilizando-se KCN em NaOH 0,2 M (0,15 $\mu\text{g/mL}$; 0,3 $\mu\text{g/mL}$; 0,6 $\mu\text{g/mL}$; 0,9 $\mu\text{g/mL}$; 1,2 $\mu\text{g/mL}$). Os resultados reportados estão expressos em mg HCN/kg de produto.

3.2.2 PRODUÇÃO DOS EXTRUSADOS

3.2.2.1 Condicionamento das amostras

O farelo de maracujá foi adicionado às formulações nos níveis determinados pelo planejamento experimental (Tabela 4). A umidade da mistura (farinha de milho + farelo de maracujá) foi determinada e também ajustada para os níveis determinados pelo planejamento. A quantidade de água necessária para atingir a umidade requerida em cada ensaio foi calculada de acordo com a Equação 9.

$$Q = \frac{100 - U_i}{100 - U_f} * m \quad \text{(Equação 9)}$$

onde:

Q = quantidade de água a adicionar (mL)

U_i = umidade inicial do material (%)

U_f = umidade final desejada (%)

m = massa de material a ser condicionado (g)

A adição da água destilada e a homogeneização das amostras foram realizadas utilizando-se uma bureta para gotejar a água e uma batedeira planetária, modelo K45SS

(KITCHENAID, EUA), agitando-se durante 5 minutos. O material condicionado foi colocado em sacos de polietileno, permanecendo estocado por 24 horas, a 4°C, antes de ser processado, para uniformização da umidade.

3.2.2.2 Processamento

As formulações preparadas (1,5 kg) foram processadas em extrusor de laboratório mono-rosca, modelo 20DN-GNF 1014/2 (BRABENDER, Alemanha), com as seguintes características: alimentador: instalado na parte inicial e superior do equipamento, tipo cônico vertical, provido de parafuso alimentador com velocidade variável; camisa com ranhuras internas, longitudinais e retilíneas: apresenta 3 zonas distintas de temperatura, aquecidas por resistências elétricas e a temperatura é controlada por termopares; rosca ou parafuso sem fim único: com 380 mm de comprimento e 19 mm de diâmetro, taxa de compressão de 3:1 e passo unitário; dinamômetro Do-Corder: acoplado ao extrusor para controlar a velocidade do parafuso; matriz cilíndrica com diâmetro de 3,4 mm, fixada na saída do equipamento.

A extrusão de cada amostra foi iniciada quando as diferentes zonas do extrusor atingiram as temperaturas determinadas no planejamento experimental (Tabela 5). A coleta das amostras só foi iniciada após a estabilização do processo, 8 minutos após a entrada da mistura no equipamento.

No processo de extrusão, foram mantidos fixos: a granulometria das matérias-primas; a velocidade de alimentação no extrusor: 70 g/min; a velocidade de rotação do parafuso do extrusor: 130 rpm; a taxa de compressão da rosca: 3:1; a temperatura da 1ª zona: 80°C e o diâmetro da matriz do extrusor: 3,4 mm. As variáveis independentes testadas foram: o teor de farelo de maracujá, a umidade inicial da matéria-prima (mistura) e as temperaturas da 2ª e 3ª zonas do extrusor.

Após a extrusão, as amostras foram secas em estufa com circulação e renovação de ar, modelo TE 394/2 (TECNAL, Brasil), a 80°C, por 1 hora. Uma parte das amostras foi armazenada inteira em sacos de polietileno para análises posteriores. Outra parte foi moída em moinho de rolos modelo Quadrumat Senior (BRABENDER, Alemanha), passando pelas seções de quebra e de redução, até atingir a granulometria desejada, e armazenada sob congelamento (-18°C), em sacos de polietileno, para análises posteriores.

3.2.2.3 Planejamento experimental

Foi utilizado um planejamento experimental composto central rotacional 2^3 para verificar os efeitos do teor de fibras (%), da umidade da matéria-prima (%) e da temperatura da 2ª e 3ª zonas de extrusão (°C) sobre propriedades físicas, físico-químicas e nutricionais do produto. As variáveis foram estabelecidas com dois níveis codificados como -1 e +1, e um ponto central (0), calculados segundo a Equação 10.

$$xi = \frac{Xi - Y}{\Delta Xi} \quad \text{(Equação 10)}$$

onde:

xi = valor codificado da variável Xi;

Xi = valor real da variável;

Y = valor real da variável no ponto central;

ΔXi = valor do intervalo de variação de Xi.

Este planejamento apresenta ainda dois níveis de variáveis axiais, codificados como $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor de α é função do número de variáveis independentes (k), sendo definida pela Equação 11.

$$\alpha = (2^k)^{1/4} \quad \text{(Equação 11)}$$

onde:

k = número de variáveis independentes utilizadas no planejamento (neste estudo = 3)

As faixas de variação entre o limite inferior e superior de cada variável foram estabelecidas a partir de dados citados por Ferreira (2006), características operacionais do extrusor (BRABENDER, 1995) e por testes preliminares.

O planejamento estatístico requer um número mínimo de tratamentos. Neste experimento, foram usados 18 tratamentos, sendo 8 fatoriais (combinações entre os níveis -1 e +1), 6 axiais (uma variável no nível $\pm \alpha$ e duas em 0) e 3 ou 4 centrais (as três variáveis no nível 0).

Os níveis das variáveis independentes, tanto codificados, como reais, e os ensaios a serem realizados, encontram-se nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4. Níveis das variáveis independentes

Variável independente	-1,68 (- α)	-1	0	+1	+1,68 (+ α)
Farelo (%) – x1	0	6	15	24	30
Umidade (%) – x2	18	20	23	26	28
Temperatura (°C) – x3	120	128	140	152	160

Tabela 5. Ensaios realizados de acordo com o planejamento experimental

Ensaio	Teor de farelo de maracujá		Umidade inicial		Temperatura de processo	
	Valor Codificado	Valor real (%) – x1	Valor codificado	Valor real (%) – x2	Valor Codificado	Valor real (%) – x3
1	-1	6	-1	20	-1	128
2	+1	24	-1	20	-1	128
3	-1	6	+1	26	-1	128
4	+1	24	+1	26	-1	128
5	-1	6	-1	20	+1	152
6	+1	24	-1	20	+1	152
7	-1	6	+1	26	+1	152
8	+1	24	+1	26	+1	152
9	- α	0	0	23	0	140
10	+ α	30	0	23	0	140
11	0	15	- α	18	0	140
12	0	15	+ α	28	0	140
13	0	15	0	23	- α	120
14	0	15	0	23	+ α	160
15 (C)	0	15	0	23	0	140
16 (C)	0	15	0	23	0	140
17 (C)	0	15	0	23	0	140
18 (C)	0	15	0	23	0	140

(C): ponto central

Para a análise dos resultados experimentais, foi utilizada a Metodologia de Superfície de Resposta. Os cálculos estatísticos foram feitos pelo erro padrão e as superfícies foram construídas (quando possível) utilizando-se o software STATISTICA,

versão 5.5 (STATSOFT, EUA). Na construção das superfícies, duas variáveis independentes variaram dentro das regiões estudadas e a terceira foi mantida fixa no ponto central.

3.2.2.4 Análise de componentes principais

Para melhor visualização da influência do teor de farelo de maracujá, da umidade inicial da matéria-prima e da temperatura do processo na resposta índice glicêmico “in vitro”, foi feita a Análise de Componentes Principais (ACP). A ACP é uma técnica usada para analisar um pequeno número de combinações lineares, denominados de componentes principais (CP), de um conjunto de variáveis que detém o máximo de informações das variáveis originais quanto possível. Ela pode também ser vista como um esforço para descobrir dependências aproximadamente lineares entre as variáveis (SAS, 1990).

O gráfico da ACP consiste de dois eixos ortogonais, CP1 e CP2, primeiro componente principal e segundo componente principal, respectivamente, que determinam o plano principal, com um conjunto de pontos das amostras e um conjunto de flechas das respostas. Na representação gráfica da ACP, cada eixo explica uma porcentagem de variabilidade total existente entre as amostras. A somatória de CP1 e CP2 deve se aproximar a 100%. Para visualizar melhor a localização das amostras e vetores, denominou-se de quadrante I aquele situado entre as coordenadas positivas dos eixos. Os demais quadrantes (II, III e IV) seguem em sentido anti-horário.

3.2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS EXTRUSADOS

Os produtos extrusados foram caracterizados quanto a suas propriedades físicas, físico-químicas e nutricionais, segundo a metodologia descrita a seguir. Todos os resultados foram analisados pela Metodologia de Superfície de Resposta.

3.2.3.1 Propriedades físicas

Os produtos extrusados foram analisados quanto às seguintes propriedades físicas:

3.2.3.1.1 Índice de expansão (IE)

O IE foi determinado segundo metodologia proposta por Mercier, Linko e Harper (1998). Trinta minutos após a saída do extrusor, quando as amostras resfriaram até a

temperatura ambiente, e antes da secagem em estufa, mediu-se o diâmetro dos extrusados com paquímetro CRAFTSMAN. O IE foi calculado dividindo-se a área da seção transversal do extrusado pela área da seção transversal da matriz, segundo a Equação 12. Considerou-se a média aritmética de 10 medidas de diâmetro em diferentes partes da amostra para cada condição de extrusão.

$$IE = \frac{\pi * r^2}{\pi * r_0^2} \quad \text{(Equação 12)}$$

onde:

r = raio do produto extrusado

r₀ = raio da matriz

3.2.3.1.2 Dureza

Na análise de textura instrumental, foi medida a dureza, utilizando-se texturômetro TA-XT2i (SATBLE MICRO SYSTEMS, Inglaterra), com carga máxima de 50 kg, equipado com software TEXTURE EXPERT para a análise dos dados. Vinte e cinco amostras de cada ensaio com 5 cm de comprimento foram cortadas uniaxialmente com “probe” tipo faca retangular “Warner Bratzler” (HDP/BS), usando a metodologia descrita por Chang et al. (2001). Os resultados apresentados são a média aritmética de 18 das 25 repetições para tentar diminuir o desvio padrão e coeficiente de variação, e estão expressos em N (Newtons). As condições utilizadas neste experimento foram: velocidade de pré-teste: 4,0 mm/s; velocidade de teste: 1 mm/s; velocidade de pós-teste: 5,0 mm/s; distância de ruptura: 20 mm; limiar de força: 10 g e medida em força de cisalhamento.

3.2.3.1.3 Manutenção da textura em leite

Cereais matinais são geralmente consumidos com leite e, durante a imersão em leite, sofrem hidratação e mudanças indesejáveis na sua textura devido à absorção de umidade. A análise das mudanças de textura durante a imersão em leite é um fator importante na predição da aceitabilidade do produto, já que a textura é um dos parâmetros de qualidade mais importantes de cereais matinais.

As amostras extrusadas com 5 cm de comprimento foram colocadas em 150 mL de leite frio (10°C). Mediu-se a dureza das amostras 5 minutos após a adição ao leite (t = 5 min), em texturômetro TA-XT2i, com as mesmas condições descritas na determinação

da dureza antes da adição ao leite ($t = 0$ min) (item 3.2.3.1.2). Foram realizadas 15 repetições para cada amostra. Os resultados reportados são a média aritmética de 10 das 15 repetições e estão expressos em N (Newtons).

3.2.3.1.4 Cor

A cor dos produtos extrusados foi avaliada instrumentalmente utilizando-se as mesmas condições descritas na determinação da cor das matérias-primas (item 3.2.1.2.2). Para a leitura da cor das amostras extrusadas, os extrusados foram dispostos na forma de um feixe, com 20 extrusados de 15 cm de comprimento. Os resultados estão expressos como a média aritmética de 4 repetições.

3.2.3.2 Propriedades físico-químicas

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

Para as determinações do ISA e do IAA foi utilizada a metodologia de Anderson et al. (1969) já descrita anteriormente na caracterização das matérias-primas (item 3.2.1.3.1). Os extrusados foram moídos em moinho de rolos modelo Quadrumat Sênior (BRABENDER, Alemanha) e passados por peneira de 60 mesh. Os resultados apresentados estão expressos como a média aritmética de 3 repetições.

3.2.3.2.2 Índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)

Para as determinações do ISL e do IAL foi utilizada a metodologia de Anderson et al. (1969) já descrita anteriormente na caracterização das matérias-primas (item 3.2.1.3.2). Os extrusados foram moídos em moinho de rolos modelo Quadrumat Sênior (BRABENDER, Alemanha) e passados por peneira de 60 mesh. Os resultados apresentados estão expressos como a média aritmética de 3 repetições.

3.2.3.2.3 Índice de absorção de óleo (IAO)

Para a determinação do IAO foi utilizada a metodologia de Anderson et al. (1969) já descrita anteriormente na caracterização das matérias-primas (item 3.2.1.3.3). Os extrusados foram moídos em moinho de rolos modelo Quadrumat Sênior (BRABENDER, Alemanha) e passados por peneira de 60 mesh. Os resultados apresentados estão expressos como a média aritmética de 3 repetições.

3.2.3.3 Propriedades nutricionais

3.2.3.3.1 Teor de fibra alimentar teórico

O teor de fibra alimentar teórico em base seca de todos os ensaios foi calculado por balanço de massa, segundo a Equação 13, utilizando-se o teor de fibra alimentar das matérias-primas (item 4.1.1). Este teor é um parâmetro importante na escolha do ponto ótimo, já que visou-se o desenvolvimento de cereal matinal com alto teor de fibra.

$$fp = \frac{Ma * fa + Mb * fb}{Mt} * 100 \quad \text{(Equação 13)}$$

onde:

Ma = massa da farinha de milho (g, b.s.)

Mb = massa do farelo de maracujá (g, b.s.)

Mt = massa seca total (g, b.s.)

fa = fibra alimentar da farinha de milho (% , b.s.)

fb = fibra alimentar do farelo de maracujá (% , b.s.)

fp = fibra alimentar teórica do produto final (% , b.s.)

3.2.3.3.2 Índice glicêmico “in vitro” (IG)

Para a determinação do IG foi utilizada a metodologia de Goñi, García-Alonso e Saura-Calixto (1997), descrita anteriormente na caracterização das matérias-primas (item 3.2.1.4.1), após a moagem das amostras em moinho de rolos modelo Quadrumat Sênior (BRABENDER, Alemanha) e passada por peneira de 100 mesh.

3.2.3.3.3 Compostos cianogênicos

Para a determinação do teor de compostos cianogênicos foi utilizada a metodologia de Bradbury, Egan e Lynch (1991), com modificações, como descrito anteriormente na caracterização das matérias-primas (item 3.2.1.4.2), após a moagem das amostras em moinho de rolos modelo Quadrumat Sênior (BRABENDER, Alemanha) e passagem por peneira de 60 mesh.

3.2.4 DETERMINAÇÃO DO PONTO ÓTIMO

A partir das Superfícies de Resposta e dos demais resultados obtidos, foi escolhida uma base para cereal matinal extrusado com as melhores condições de processo, visando-se ter um produto com “alto teor de fibras” segundo a Legislação Brasileira, com propriedades físicas, físico-químicas e nutricionais adequadas. A quantidade mínima exigida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (1998) para permitir a alegação de “alto teor de fibras” em um produto sólido é de 6 g de fibra alimentar por cada 100 g de produto.

3.2.4.1 Análise do ponto ótimo

A partir do ponto ótimo escolhido através do planejamento experimental, foi feito um novo processamento de extrusão. Os produtos obtidos foram caracterizados quanto a sua composição centesimal, segundo as metodologias descritas anteriormente na caracterização das matérias-primas (item 3.2.1.1); IE, dureza e manutenção da textura em leite, segundo as metodologias descritas anteriormente na caracterização dos produtos extrusados (ítems 3.2.3.1.1, 3.2.3.1.2 e 3.2.3.1.3, respectivamente). Estas análises serviram também para validar os modelos matemáticos obtidos através da Metodologia de Superfície de Resposta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.1.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

A composição centesimal das matérias-primas, farinha de milho e farelo de maracujá está apresentada na Tabela 6. Os resultados da composição centesimal da farinha de milho apontam que a mesma apresenta um elevado teor de carboidratos, predominantemente amido e pouca fibra. Os resultados encontrados para a farinha de milho são próximos aos encontrados por Onwulata et al. (2001) e Ferreira (2006).

Tabela 6. Composição química centesimal das matérias-primas*

Componente	Farinha de milho (%)	Farelo de maracujá (%)
Umidade	9,55 ± 0,064	6,74 ± 0,062
Gordura	2,61 ± 0,016	0,60 ± 0,072
Proteína	8,55 ± 0,08	7,63 ± 0,14
Cinzas	0,52 ± 0,012	6,17 ± 0,029
Carboidratos**	78,77	78,86
Fibra alimentar total ***	3,68 ± 0,01	64,11 ± 0,06
 Insolúvel	3,37 ± 0,02	50,16 ± 0,08
 Solúvel	0,31 ± 0,01	13,96 ± 0,02

*Média de 3 replicatas

**Calculados por diferença, incluem a fração de fibra alimentar

***Média de 2 replicatas

Foi observado que o farelo de maracujá contém alto teor de fibra alimentar total (64,11%), apresentando teores significativos de fibra insolúvel (50,16%) e fibra solúvel (13,96%), ao contrário da farinha de milho que apresentou baixo teor de fibra alimentar total (3,68%), sendo 3,37% fibra insolúvel e 0,31% fibra solúvel. Matsuura (2005) reportou 67,5% de fibra alimentar total em farelo de albedo de maracujá, sendo 35,8% fibra insolúvel e 31,7% fibra solúvel. Quando comparados os resultados, pode-se observar que a razão fibra solúvel/fibra insolúvel foi muito menor neste trabalho (0,28) do que o reportado por este pesquisador (0,88). Este fato é atribuído ao uso de farelo integral de

maracujá neste projeto, enquanto Matsuura (2005) utilizou somente o albedo de maracujá e não a casca como um todo.

O alto teor de fibras do farelo de maracujá é uma característica semelhante à da casca de laranja utilizada por Céspedes (1999), casca de manga utilizada por Gouerge et al. (1992) e cascas de maçã utilizadas por Grigelmo-Miguel e Martín-Belloso (1999), justificando o uso desse farelo no desenvolvimento de cereal matinal com alto teor de fibras, pois o consumo de fibras tem sido associado à redução da glicose sanguínea e colesterol sérico (CHAU e HUANG, 2004; ANDERSON et al., 1994).

O farelo de maracujá também apresentou quantidades não-desprezíveis de proteína (7,63%) e cinzas (6,17%). As cinzas representam os minerais presentes no material, como sódio, potássio e ferro (MATSUURA, 2005).

4.1.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

4.1.2.1 Granulometria

A Tabela 7 contém os dados referentes à granulometria da farinha de milho e do farelo de maracujá.

Tabela 7. Distribuição granulométrica das matérias-primas*

Mesh	Abertura (mm)	Farinha de milho (% retida)	Farelo de maracujá (% retida)
20	0,840	0,72 ± 0,30	4,73 ± 0,27
32	0,500	0,94 ± 0,68	29,38 ± 0,68
60	0,250	85,21 ± 2,40	31,98 ± 0,80
80	0,177	8,65 ± 1,39	8,48 ± 0,55
100	0,149	0,97 ± 0,59	3,00 ± 0,10
fundo	-	3,54 ± 1,88	22,45 ± 0,95

*Média de 3 replicatas

A análise dos resultados permite observar que a farinha de milho apresenta granulometria mais homogênea que o farelo de maracujá. Aproximadamente 94% das partículas da farinha de milho ficaram retidas nas peneiras de 60 e 80 mesh, apresentando granulometria predominante entre 0,177 e 0,500 mm. O farelo de maracujá apresentou uma distribuição mais heterogênea. Aproximadamente 62% das partículas do

farelo de maracujá ficou retida nas peneiras de 32 e 60 mesh, apresentado granulometria predominantemente entre 0,250 e 0,840 mm, consideradas partículas de tamanho grande (LARREA, 1999). Por outro lado, 25,5% do farelo de maracujá ficou no fundo e retido na peneira de 100 mesh, sendo constituído por partículas de tamanho pequeno (<0,177 mm).

4.1.2.2 Cor

As médias dos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , C^* e h_{ab} das matérias-primas estão apresentadas na Tabela 8 e estas podem ser visualizadas na Figura 3.

Tabela 8. Valores médios dos parâmetros L^* , a^* , b^* , C^* e h_{ab} das matérias-primas¹

	L^*	A^*	b^*	C^*	h_{ab}
Farinha de milho	86,31	5,03	30,94	31,35	80,77
Farelo de maracujá	72,33	4,81	20,76	21,31	76,96

¹ Média de 4 replicatas



Figura 3. Farelo de maracujá (a) e farinha de milho (b) utilizados

A farinha de milho apresentou uma cor mais clara (valor de L^* maior), com um ângulo de tonalidade (h_{ab}) maior (tendência à coloração amarela) do que o farelo de maracujá, que apresentou uma cor mais escura (L^* menor) e ângulo de tonalidade menor. Os parâmetros da cor do farelo de maracujá são próximos aos reportados por Matsuura (2005) para o farelo obtido do albedo de maracujá não tratado para a redução do teor de compostos cianogênicos.

4.1.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Os resultados obtidos para os diversos índices na determinação das propriedades físico-químicas das matérias-primas estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. ISA, IAA, ISL, IAL e IAO das matérias-primas*

Amostra	ISA	IAA	ISL	IAL	IAO
Farinha de milho	7,14 ± 0,19 ^a	3,33 ± 0,01 ^a	5,23 ± 1,7 ^a	3,26 ± 0,15 ^a	3,63 ± 0,05 ^a
Farelo de maracujá	31,66 ± 0,30 ^b	14,38 ± 0,45 ^b	14,53 ± 5,5 ^b	12,50 ± 0,50 ^b	4,74 ± 0,04 ^b

*Médias de 3 replicatas

ISA = Índice de Solubilidade em Água (%); IAA = Índice de Absorção de Água (g água/ g de amostra seca); ISL = Índice de Solubilidade em Leite (%); IAL = Índice de Absorção de Leite (g leite/g amostra seca); IAO = Índice de Absorção de Óleo (g óleo/g amostra seca).

a-b: Médias com letras diferentes nas colunas são diferentes significativamente ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

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

Os valores encontrados na determinação do ISA da farinha de milho e do farelo de maracujá foram 7,14 e 31,66%, respectivamente. O valor de 7,14% é baixo, quando comparado com o da fibra e justifica-se pelo fato da farinha de milho ser constituída basicamente de amido na forma nativa. Este valor está acima do reportado por Ferreira (2005), que foi de 2,7%, e por Alvim, Sgarbieri e Chang (2002), que foi de 2,2%. Isto pode ter ocorrido pelo fato de se ter utilizado neste projeto farinha de milho fina. O processo de moagem para a obtenção da farinha fina pode ter danificado o amido, aumentando os sólidos solúveis presentes na análise para a determinação do índice de solubilidade em água. O valor do ISA encontrado para o farelo de maracujá (aproximadamente 4 vezes maior que o da farinha de milho) demonstra que este apresenta maior teor de compostos solúveis e de baixa massa molecular.

O valor do IAA encontrado para a farinha de milho foi de 3,33 g de água/g material seco. Este valor coincide com o valor reportado por Ferreira (2006), que foi também de 3,33 g de água/g material seco, e está acima do reportado por Alvim, Sgarbieri e Chang (2002), que foi de 2,7 g de água/g material seco. Este índice é relativamente baixo em função das condições de teste (30°C), na qual não ocorre a gelatinização do amido, com conseqüente exposição dos grupos hidrofílicos (-OH) das moléculas de amilose e amilopectina. Processos térmicos, como o processo de extrusão, elevam os valores de

IAA, devido à gelatinização dos grânulos de amido e à desnaturação das proteínas que conduzem a mudanças conformacionais e estruturais. Os grânulos gelatinizados absorvem mais água que grânulos no estado nativo, pois têm o seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado (Alvim, Sgarbieri, Chang, 2002).

Para o farelo de maracujá, o valor do IAA é menor que o reportado por Matsuura (2005), que trabalhou com o albedo e não o farelo integral, e obteve para este índice 16,2 g água/g material seco. O valor de 14,38 g água/g material seco encontrado para o IAA do farelo de maracujá indica que o mesmo apresenta boa capacidade de retenção de água. Segundo alguns pesquisadores (MERCIER; LINKO e HARPER, 1998; RIAZ, 2002), etapas de processamento como moagem, tratamento térmico ou extrusão termoplástica promovem mudanças nas propriedades físicas da matriz da fibra e, conseqüentemente, nas propriedades de hidratação.

4.1.3.2 Índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)

Os valores encontrados para o ISL da farinha de milho e do farelo de maracujá foram 5,23 e 14,53%, respectivamente. O valor de 5,23% é baixo e justifica-se pelo fato da farinha de milho ser constituída basicamente de amido na forma nativa. Os valores do ISL foram menores quando comparados com os valores do ISA. Uma hipótese possível é que a pectina presente no farelo de maracujá é uma fonte de fibras com alto peso molecular que pode formar géis complexos e elásticos (FAGAN et al., 2006). A formação do gel poderia justificar a diminuição dos sólidos solúveis presentes no sobrenadante, obtendo-se um ISL menor quando comparado com o ISA. Pectinas de baixa metoxilação formam géis na presença de íons cálcio, pois quando os grupos carboxila encontram-se ionizados, podem estabelecer uniões iônicas com outras moléculas de pectina mediante o íon cálcio (Ca⁺⁺) (BAUDI, 1999). Por outro lado, a pectina de alta metoxilação pode reagir com a caseína do leite, evitando a coagulação da caseína a pH abaixo do ponto isoléctrico (pH < 4,6) (GLICKSMAN, 2000).

Os valores do IAL encontrados para a farinha de milho e para o farelo de maracujá foram de 3,26 e 12,50 g de leite/g material seco, menores que os valores de IAA. Não foram encontradas referencias bibliográficas que apresentem valores destes índices para comparação.

4.1.3.3 Índice de absorção de óleo (IAO)

Os índices de absorção de óleo da farinha de milho e do farelo de maracujá foram de 3,63 e 4,74 g de óleo/g de material seco, respectivamente. O valor do IAO do farelo de maracujá encontra-se acima do reportado por Matsuura (2005), que trabalhou somente com o albedo e não com o farelo integral, obtendo 2,5 g de óleo/g de material seco. Isto poderia indicar que a fibra insolúvel tem efeito importante neste índice. Lopez et al. (1997) obtiveram fibra alimentar de alcachofras e indicaram que as fibras insolúveis apresentam maiores índices de absorção de óleo que as fibras solúveis, porque fontes ricas em lignina são as que possuem maior capacidade de absorção de óleo.

4.1.4 PROPRIEDADES NUTRICIONAIS

4.1.4.1 Índice glicêmico “in vitro” (IG)

A taxa de digestão do amido e a sua absorção são importantes nas respostas metabólicas aos alimentos. Carboidratos com uma taxa baixa de digestão são considerados favoráveis no controle de certas disfunções metabólicas, como a diabetes e a hiperlipidemia (GOÑI, GARCÍA-ALONSO e SAURA-CALIXTO, 1997).

O índice glicêmico foi introduzido para tentar classificar alimentos de acordo com a resposta pós-prandial de glicose no sangue. O IG é definido como a resposta glicêmica total 2 horas após o consumo de 50 gramas de carboidratos e é expresso como o valor relativo quando comparado ao da glicose ou do pão branco (ROBERTS, 2000).

As curvas de cinética da hidrólise das duas matérias-primas e do alimento de referência (pão branco) apresentam-se na Figura 4, onde se observa claramente que as matérias-primas foram menos digeridas que o alimento de referência (pão branco). No caso da farinha de milho, este fato está relacionando à estrutura do amido não-gelatinizado. Geralmente, farinhas de grãos “in natura” contêm grânulos de amido não-gelatinizados, resistentes à digestão enzimática (GOÑI, GARCÍA-ALONSO e SAURA-CALIXTO, 1997), ao contrário do pão branco, que apresenta em sua composição amido gelatinizado, mais disponível para a ação da enzima. A taxa de hidrólise aumenta proporcionalmente com o grau de gelatinização do amido (CHUNH, LIM e LIM, 2006). Os valores de hidrólise menores para o farelo se devem à sua composição. O farelo de maracujá contém alto teor de fibra alimentar total (64,11%), apresentando teores significativos de fibra insolúvel (50,16%) e fibra solúvel (13,96%). Na Figura 4, também se

observa que o farelo de maracujá apresenta valores de hidrólise menores que a farinha de milho, embora não muito diferentes.

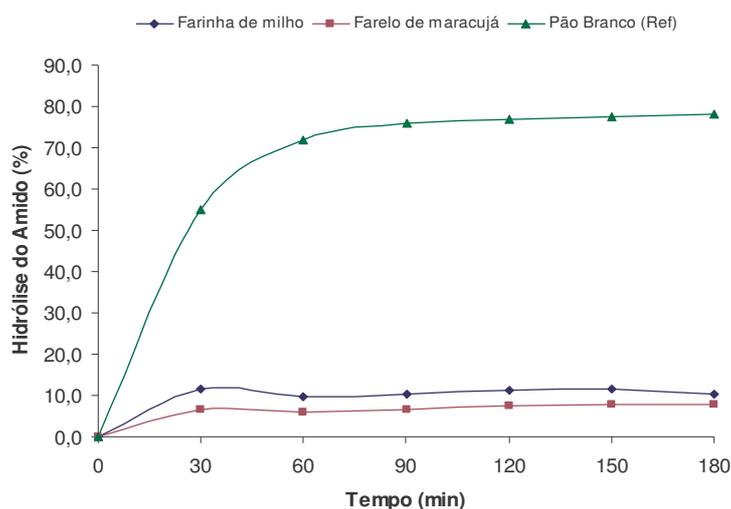


Figura 4. Cinética enzimática “in vitro” da farinha de milho, do farelo de maracujá e do pão branco (utilizado como referência)

Curva do pão branco segundo GOÑI, GARCÍA-ALONSO e SAURA-CALIXTO (1997)

Foi calculado o índice de hidrólise (IH) pela divisão da área da curva da amostra pela área da curva da amostra referência. Utilizando a Equação 8, foi calculado o índice glicêmico (IG) das matérias-primas. O IG da farinha de milho e do farelo de maracujá foi de 48,03 e 45,00%, respectivamente. Na Figura 5, apresentam-se os valores encontrados para o índice de hidrólise e para o índice glicêmico das matérias-primas, comparadas com o pão branco, que é o alimento de referência por ser totalmente hidrolisado (GOÑI, GARCÍA-ALONSO e SAURA-CALIXTO, 1997).

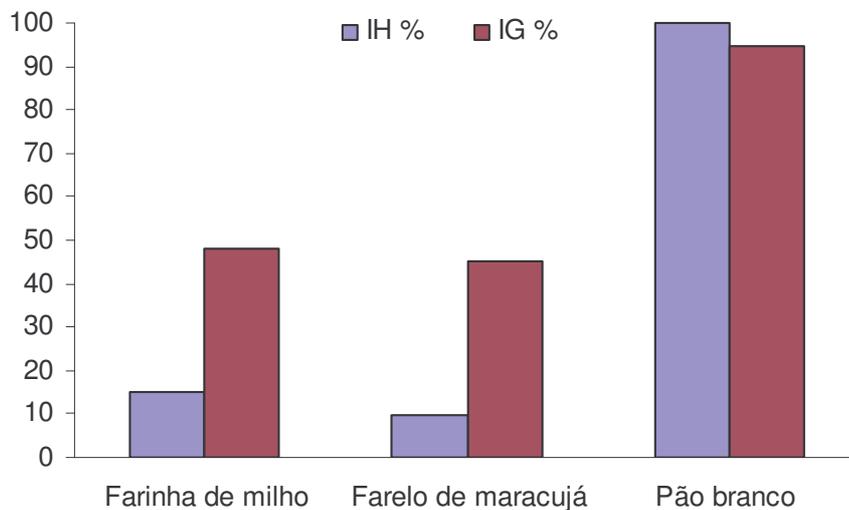


Figura 5. Índice de hidrólise (IH) e índice glicêmico (IG) das matérias-primas e da amostra de referência (pão branco)

Valores do pão branco segundo GOÑI, GARCÍA-ALONSO e SAURA-CALIXTO (1997)

O IH do farelo de maracujá apresentou-se um pouco menor que o reportado por Matsuura (2005) para o albedo de maracujá não tratado, que foi de 56,9%, e menor também que o apresentado por Larrea (1999) para misturas de polpa de laranja com amido de batata.

O IG glicêmico encontrado para as matérias-primas foi muito menor que o referenciado por Goñi et al. (1997) para o pão branco (100), macarrão (78), arroz (81), biscoitos (79), feijão (60), ervilhas (74), batata cozida (101) e batatas “chips” (74), e similar aos referenciados para lentilhas (42) e grão-de-bico (47).

O baixo índice glicêmico do farelo de maracujá indica que este poderia ser utilizado como ingrediente no desenvolvimento de produtos para diabéticos e obesos, por exemplo, onde é importante um controle do teor de glicose no plasma sanguíneo.

4.1.4.2 Compostos cianogênicos

O farelo de maracujá apresentou 748,3 mg/kg de compostos cianogênicos totais. Spencer e Seigler (1983) encontraram teores de compostos cianogênicos na faixa de 6,5 a 59,4 mg de HCN por 100 g de fruto fresco (65 a 594 mg/kg), enquanto Chassagne et al. (1996) reportaram teores de glicosídeos cianogênicos de aproximadamente 286 mg/kg de casca de maracujá “in natura”.

O alto teor de compostos cianogênicos encontrados neste estudo, quando comparado com os estudos dos outros autores, deve-se ao fato do farelo utilizado ser a casca de maracujá seca e triturada, ou seja, os componentes presentes na casca, como os glicosídeos cianogênicos, encontram-se mais concentrados do que no estado “in natura”.

Em geral, espécies botânicas contendo 20 mg/100 g de peso fresco (200 mg/kg) são consideradas tóxicas (MORAN, 1954, *apud* SPENCER e SEIGLER, 1983), mas um conteúdo de HCN de 10 mg/100 g de peso fresco (100 mg/kg) em *Cassava* foi considerado perigosamente venenoso por Bolhuis (1954), *apud* Spencer e Seigler (1983). No caso da mandioca, o processamento adequado provoca a remoção completa dos compostos cianogênicos das raízes.

Segundo Bradbury, Egan e Lynch (1991), a dose letal de HCN para humanos encontra-se na faixa de 0,5 a 3,5 mg/kg de peso corpóreo, o que seria 35 a 245 mg de HCN para uma pessoa de 70 kg. Em doses menores, o consumo freqüente de alimentos com glicosídeos cianogênicos pode provocar certas doenças, como o bócio e a neuropatia atáxica tropical (OKE, 1981).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS EXTRUSADOS

4.2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

Os resultados (médias e desvios padrão) obtidos a partir do planejamento experimental composto central rotacional 2³ para verificar os efeitos do teor de fibras (%), umidade da matéria-prima (%) e temperatura da 2^a e 3^a zonas de extrusão (°C) sobre as propriedades físicas dos produtos extrusados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Propriedades físicas dos produtos extrusados

E	X1	X2	X3	Índice de expansão	Dureza (N)	Textura em leite			Cor				
						Dureza 1 min	Dureza 2,5 min	Dureza 5 min	L*	a*	b*	C*	h (°)
1	-1	-1	-1	3,88 ± 0,76	11,98 ± 3,22	10,24 ± 1,48	13,16 ± 0,74	13,55 ± 1,04	58,45	5,96	30,49	31,07	78,94
2	+1	-1	-1	3,86 ± 0,27	21,31 ± 4,60	22,23 ± 4,73	13,70 ± 5,78	20,18 ± 2,76	44,15	7,54	21,76	23,03	70,89
3	-1	+1	-1	3,63 ± 0,44	17,24 ± 4,37	14,51 ± 3,90	15,83 ± 3,58	15,39 ± 2,74	48,52	6,06	25,59	26,30	76,68
4	+1	+1	-1	1,59 ± 0,28	19,81 ± 6,37	12,46 ± 1,03	15,92 ± 1,94	13,41 ± 2,64	50,45	5,45	21,08	21,77	75,50
5	-1	-1	+1	3,17 ± 0,20	10,16 ± 2,41	18,73 ± 5,04	7,20 ± 1,17	9,82 ± 2,25	62,55	5,07	24,61	25,13	78,36
6	+1	-1	+1	1,63 ± 0,26	9,36 ± 2,98	4,54 ± 0,44	4,95 ± 0,86	5,30 ± 1,48	58,56	5,81	21,75	22,51	75,04
7	-1	+1	+1	1,18 ± 0,17	25,73 ± 7,54	18,73 ± 5,04	18,75 ± 2,63	16,14 ± 3,18	59,24	5,26	23,95	24,52	77,61
8	+1	+1	+1	1,02 ± 0,23	24,35 ± 7,47	9,06 ± 2,37	8,44 ± 1,99	6,43 ± 1,51	52,38	6,21	23,08	23,90	74,94
9	-α	0	0	3,06 ± 0,31	17,83 ± 3,87	15,40 ± 2,19	13,55 ± 1,50	15,76 ± 2,51	68,26	3,56	30,95	31,15	83,44
10	+α	0	0	1,96 ± 0,23	19,80 ± 4,83	9,03 ± 2,49	9,68 ± 2,03	6,32 ± 1,31	51,53	6,46	23,4	24,28	74,57
11	0	-α	0	4,11 ± 0,48	11,54 ± 1,82	7,91 ± 1,25	8,36 ± 0,86	6,36 ± 1,20	54,02	7,39	25,21	26,27	73,66
12	0	+α	0	1,58 ± 0,26	21,27 ± 6,58	10,33 ± 1,53	12,20 ± 2,19	16,17 ± 3,81	52,71	5,89	23,45	24,18	75,90
13	0	0	-α	3,77 ± 0,39	20,97 ± 4,24	14,85 ± 2,08	16,50 ± 4,51	19,85 ± 4,06	48,16	8,02	24,96	26,22	72,19
14	0	0	+α	1,75 ± 0,22	15,92 ± 3,86	6,26 ± 1,22	9,44 ± 1,40	7,57 ± 1,70	64,03	3,70	28,44	28,68	82,59
15	0	0	0	2,06 ± 0,22	16,27 ± 4,38	12,80 ± 0,59	14,03 ± 1,14	12,36 ± 0,37	55,04	5,51	23,51	24,15	76,81
16	0	0	0	2,09 ± 0,25	14,88 ± 3,72	15,03 ± 1,72	16,42 ± 3,20	12,44 ± 3,03	55,58	6,13	22,84	23,65	74,98
17	0	0	0	2,44 ± 0,20	14,86 ± 2,37	14,28 ± 2,96	14,40 ± 1,86	10,45 ± 2,04	52,97	6,10	22,77	23,57	75,00
18	0	0	0	2,62 ± 0,26	17,01 ± 3,09	10,45 ± 2,20	12,43 ± 2,81	12,42 ± 1,82	51,00	5,77	21,98	22,72	75,29

E: ensaio; X1=teor de farelo de maracujá (%); X2=umidade da matéria-prima (%); X3=temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C); α = (2^K)^{1/4} = 1,68.

4.2.1.1 Índice de expansão

Os resultados apresentados na Tabela 10 para o índice de expansão (IE) são a média aritmética de 10 repetições. Estes valores foram utilizados nas análises estatísticas para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre o IE.

Como pode ser observado nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 10), os extrusados apresentaram valores de IE entre 1,02 e 4,11, como valores mínimo e máximo, respectivamente, para os 18 ensaios. O ensaio com menor IE foi o Ensaio 8, com alto teor de farelo de maracujá (24%), alto teor de umidade inicial da matéria-prima (26%) e alta temperatura de processo (152°C). Por outro lado, o ensaio com maior expansão foi o Ensaio 11, processado nas condições intermediárias do planejamento em relação à temperatura (140°) e ao teor de farelo de maracujá (15%), mas com a condição mais baixa de umidade inicial da matéria-prima (16%).

Através dos resultados obtidos, foi possível determinar os coeficientes de regressão que estão apresentados na Tabela 11, onde se observa que os únicos parâmetros que tiveram efeito estatisticamente significativo foram os lineares, dentro da faixa de valores estudada.

Tabela 11. Coeficientes de regressão para a resposta índice de expansão (IE)*

	Coeficientes Regressão	Erro Padrão	t(14)	p-valor
Média	2,52	0,10	25,65	3,61E-13
Farelo (L)	-0,41	0,11	-3,64	2,69E-03
Umidade (L)	-0,69	0,11	-6,07	2,87E-05
Temperatura (L)	-0,69	0,11	-6,07	2,88E-05

*Valores estatisticamente significativos a 95% de significância ($p < 0,05$)

A Tabela 12 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, sendo o coeficiente de variação (R^2) igual a 0,86 e o valor de $F_{\text{calculado}}$ 8,68 vezes maior que o F_{tabelado} , a 5% de significância.

Tabela 12. Análise de variância para o índice de expansão (IE)

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F _{calc}	p
Regressão	15,14	3	5,05	29,00	2,9E-06
Resíduo	2,44	14	0,17		
Total	17,58	17			

$$R^2 = 86\%; F_{3;14;0,95} = 3,34$$

Em vista dos resultados obtidos na análise de variância, foi obtido o modelo codificado representado na Equação 14, que mostra a possibilidade do IE ser estimado em função do teor de farelo de maracujá, da umidade inicial da matéria-prima e da temperatura do processo, desde que estas variáveis sejam analisadas nas faixas de variação utilizadas neste estudo.

$$IE = 2,52 - 0,41 * F - 0,69 * U - 0,69 * T \quad \text{(Equação 14)}$$

onde:

F = Farelo de maracujá (%)

U = Umidade inicial da matéria-prima (%)

T = Temperatura das 2^a e 3^a zonas do extrusor (°C)

A tabela de desvios relativos para garantir a validade do modelo encontra-se no Apêndice 1. Valores baixos de desvios representam um bom ajuste do modelo nas condições estudadas. A partir do modelo obtido, foi possível construir as superfícies de resposta para o IE, apresentadas na Figura 6, que permitem visualizar as melhores condições para as variáveis independentes utilizadas neste projeto.

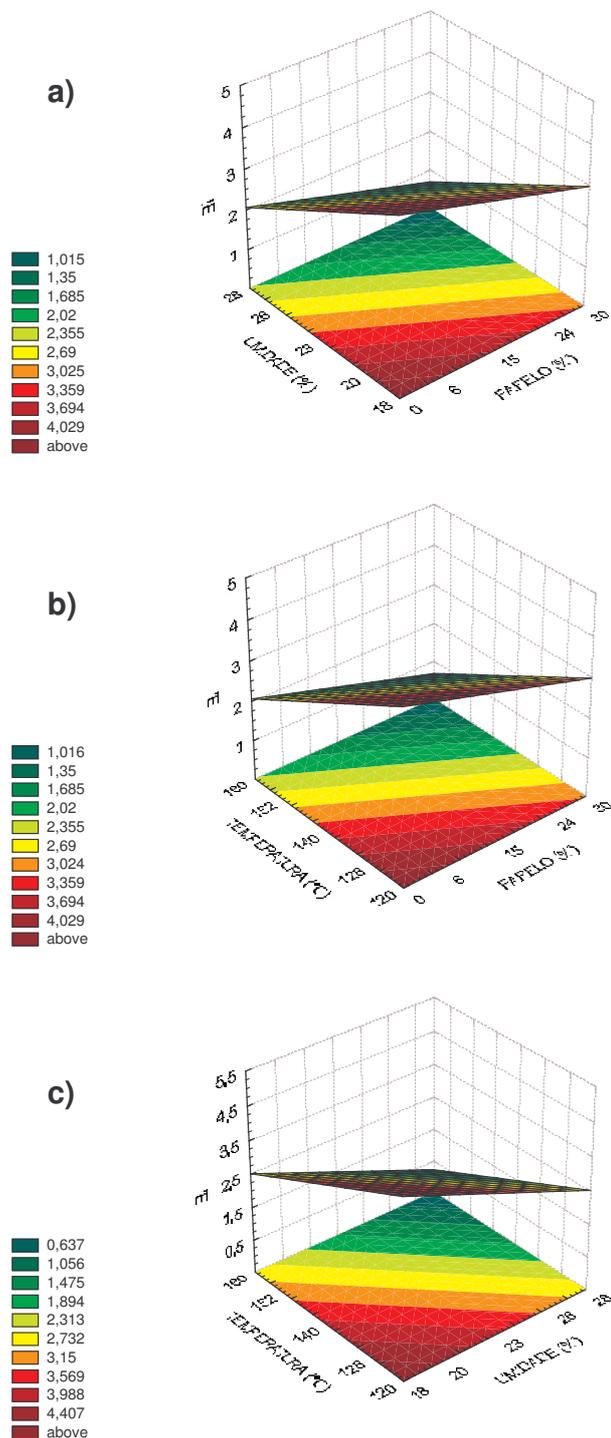


Figura 6. Superfícies de resposta para o índice de expansão (IE) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.

Características importantes de produtos extrusados são a expansão e a textura. Os produtos extrusados são caracterizados quanto a sua expansão e normalmente a expansão máxima é desejada para “snacks” extrusados expandidos. Para cereais matinais extrusados expandidos uma estrutura diferente é desejada. É preciso obter produtos com uma densidade aparente maior, porosidade menor e paredes de estrutura mais grossas, já que esses produtos serão submetidos à imersão em um meio aquoso, como por exemplo, o leite, e deverão manter a sua textura durante o maior tempo possível, absorvendo a menor quantidade possível de umidade (MERCIER; LINKO e HARPER, 1998).

No extrusor, a aplicação de calor, a ação de cisalhamento sobre o produto e o teor de água, desfazem a estrutura molecular ordenada, como no caso da gelatinização do amido, resultando também em uma quebra molecular do material. Quando o material é forçado pela matriz para sair do extrusor, ele expande rapidamente, aumentando seu diâmetro várias vezes mais do que o tamanho da matriz (CHIMMASWAMY e HANNA, 1988; PADMANABHAN e BHATTACHARYA, 1989; MERCIER; LINKO e HARPER, 1998).

As superfícies de resposta demonstram que a valores baixos de temperatura de processo, umidade inicial da matéria-prima e farelo de maracujá, foi obtida a maior expansão dentro dos níveis estudados. Segundo a Equação 14, ao aumentar o teor de farelo de maracujá, a umidade inicial da matéria-prima e a temperatura do processo, dentro das faixas estudadas, o IE diminuiu, sendo que os maiores efeitos foram observados para o teor de umidade e a temperatura. Ferreira (2005), na produção de “snacks” extrusados, ao aumentar a umidade da matéria-prima de 16,3 a 29,7%, a temperatura do processo de 104,8 a 155,2°C e o teor de farelo de trigo de 16,3 a 29,7%, também reportou uma queda no IE. Mendonça, Grossmann e Verhé (2000) investigaram o efeito da umidade (160 – 220 g/kg), da temperatura de extrusão termoplástica (150 – 190°C) e da adição de farelo de milho (180 – 320 g/kg) na produção de “snacks”. Eles também reportaram que o IE diminuiu linearmente com o aumento do teor de umidade, da temperatura e da adição de farelo de milho.

Álvarez-Martínez (1988) investigou a expansão de extrusados de milho, variando a umidade inicial da matéria-prima, temperatura de processo e corte na matriz, e concluiu que os parâmetros mais significativos na redução da expansão foram a umidade e o corte na matriz. Ding et al. (2005) estudaram o efeito dos parâmetros da extrusão termoplástica nas características físico-químicas e nas propriedades físicas de produtos expandidos à

base de arroz. Eles encontraram que a umidade é o principal fator que afeta a densidade do extrusado e a sua expansão.

Estudos realizados com grits de milho demonstraram que a expansão é inversamente proporcional à umidade do material a ser extrusado. A água tem efeito inverso sobre a expansão, agindo como plastificante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade e a dissipação da energia mecânica no extrusor, produzindo assim, produtos mais densos e comprimindo o crescimento de bolhas. Em temperaturas altas, o gel é mais elástico, formando uma matriz de pequenas células uniformes, enquanto que em baixa umidade, o gel formado é pouco elástico e o material extrusado tem células grandes e pouco uniformes. (CHIMMASWAMY, 1993; MERCIER, LINKO e HARPER, 1998). Este mesmo fenômeno foi observado neste projeto: quanto maior a umidade da matéria-prima, menor foi o valor encontrado para o índice de expansão.

Outro parâmetro importante na expansão dos extrusados é a temperatura de processo. Os produtos não expandem se a temperatura não alcança os 100°C. A expansão aumenta com o aumento da temperatura quando o conteúdo de umidade do material é ao redor de 19,5%, devido à viscosidade ser menor, permitindo expandir mais rápido a massa fundida, ou devido a um aumento na pressão de vapor. A temperaturas baixas de extrusão, a expansão diminui porque o amido não é completamente fundido. O grau de expansão radial é proporcional à temperatura até certo valor, para depois decrescer em temperaturas elevadas. A diminuição da expansão a temperaturas muito altas é atribuída ao aumento da dextrinização e enfraquecimento da estrutura (MERCIER; LINKO e HARPER, 1998). Entretanto, Chang et al. (2001) estudaram os efeitos da adição de isolado protéico de soja (IPS) (0 – 50%), umidade inicial da matéria-prima (17,96 – 28,04%) e temperatura de processo (106,4 – 173,6°C) no desenvolvimento de “snack” expandido à base de amido de mandioca e concluíram que a expansão aumentou com temperaturas de processo maiores que 130°C e alto conteúdo de IPS. Outros trabalhos realizados por Rueda, Chang e Martínez-Bustos (2004) estudaram o efeito das variáveis do processo de extrusão nas características de farinha de soja desengordurada. Eles concluíram que um aumento contínuo na temperatura de extrusão, de 135 a 165°C, e na velocidade do parafuso, de 110 a 190 rpm, aumentou a expansão.

Outro resultado importante obtido neste estudo foi a queda do índice de expansão devido à adição de farelo de maracujá (Figura 6). Segundo Riaz (2002), partículas maiores, como o farelo de maracujá no caso deste estudo, tendem a romper as paredes das células do produto extrusado, causando uma redução no IE. Os polissacarídeos não-

amiláceos, como a fibra, ligam água mais fortemente durante a extrusão do que as proteínas e o amido. Essa ligação inibe a perda da água na matriz, ou seja, na saída do extrusor, reduzindo a expansão. O amido presente não pode ser gelatinizado totalmente na presença da fibra e por isso não é mais capaz de suportar a expansão (CAMIRE e KING, 1991).

Ilo, Liu e Berghofer (1999) adicionaram farinha de amaranto em “snacks” à base de arroz e observaram uma relação inversamente proporcional entre a adição de amaranto e a expansão dos produtos. Resultados similares obtiveram Hsieh et al. (1989) ao estudar o efeito da adição de fibra e velocidade do parafuso nas características físicas de extrusados à base de farinha de milho. Eles concluíram que a presença da fibra diminui a elasticidade e plasticidade da massa, reduzindo o índice de expansão.

Segundo Mercier, Linko e Harper (1998), o grau de expansão máxima está estreitamente relacionado ao conteúdo de amido. A máxima expansão é obtida com amidos puros (aumento de 500% no diâmetro do produto), seguido de grãos inteiros (400%) e com menor expansão sementes ou germes (150-200%); o conteúdo de amido destes produtos é de 100, 65-78, 40-50 e 0-10, respectivamente. O limite mínimo de conteúdo de amido para expansão é de 60-70%.

4.2.1.2 Dureza

Os resultados apresentados na Tabela 10 para dureza são a média aritmética de 18 repetições. Os valores apresentados foram utilizados nas análises estatísticas para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre a dureza.

Observou-se, nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 10), que os produtos extrusados apresentaram valores de dureza entre 9,36 N e 25,73 N, como valores mínimo e máximo, respectivamente, para os 18 ensaios. Comparando os valores da dureza com os valores reportados por Ferreira (2005) ao extrusar farinha de milho com farelo de trigo, observou-se que os valores reportados por ele são maiores do que os achados neste estudo. Ele reportou valores de dureza na faixa de 15 a 47 N. A diferença pode ser devido ao uso de menores temperaturas. Observa-se que os desvios padrão apresentados na Tabela 10 são valores altos, provavelmente devido à heterogeneidade do material extrusado, cuja superfície irregular e estrutura porosa, quando analisado com “probe” tipo guilhotina, pode ter sido cortado em bolhas ou na matriz contínua do extrusado, fornecendo leituras diferentes. Para tentar minimizar este erro, foram feitas 25 repetições e somente 18 foram escolhidas para obter a média e os

desvios padrão. Seria recomendável utilizar outro tipo de “probe”, que permita a medida de uma quantidade maior de amostra e não uma medida pontual.

Apesar dos desvios padrão serem altos, foi possível determinar o modelo matemático. Os coeficientes de regressão que apresentaram efeito significativo sobre a dureza estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Coeficientes de regressão para a resposta dureza*

	Coeficientes Regressão	Erro Padrão	t(13)	p-valor
Média	17,24	0,48	35,85	2,19E-14
Farelo (L)	0,95	0,55	1,73	0,1074
Umidade (L)	3,71	0,55	6,73	1,41E-5
Farelo (L) x Temperatura (L)	-1,76	0,72	-2,44	0,0298
Umidade (L) x Temperatura (L)	3,35	0,72	4,65	0,0005

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$)

A Tabela 14 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, sendo o coeficiente de variação (R^2) igual a 0,85 e o valor de $F_{\text{calculado}}$ 7,8 vezes maior que o F_{tabelado} , a 10% de significância.

Tabela 14. Análise de variância para a dureza

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	Fcalc	p
Regressão	315,31	4	78,83	18,94	2,47E-5
Resíduo	54,10	13	4,16		
Total	369,41	17			

$R^2 = 85\%$; $F_{4;13;0,90} = 2,43$

Em vista dos resultados obtidos na análise de variância, foi obtido o modelo codificado representado na Equação 15, indicando a possibilidade da dureza ser estimada em função do teor de farelo de maracujá, da umidade inicial da matéria-prima e da temperatura do processo, desde que estas variáveis sejam analisadas nas faixas de variação utilizadas neste estudo.

$$Dureza = 17,24 + 0,95 * F + 3,71 * U - 1,76 * F * T + 3,35 * U * T \quad \text{(Equação 15)}$$

onde:

F = Farelo de maracujá (%)

U = Umidade inicial da matéria-prima (%)

T = Temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C)

A tabela de desvios relativos, para garantir a validade do modelo, encontra-se no Apêndice 1. A partir do modelo obtido, foi possível construir as superfícies de resposta para a dureza, apresentadas na Figura 7, permitindo visualizar as melhores condições para as variáveis independentes utilizadas neste projeto.

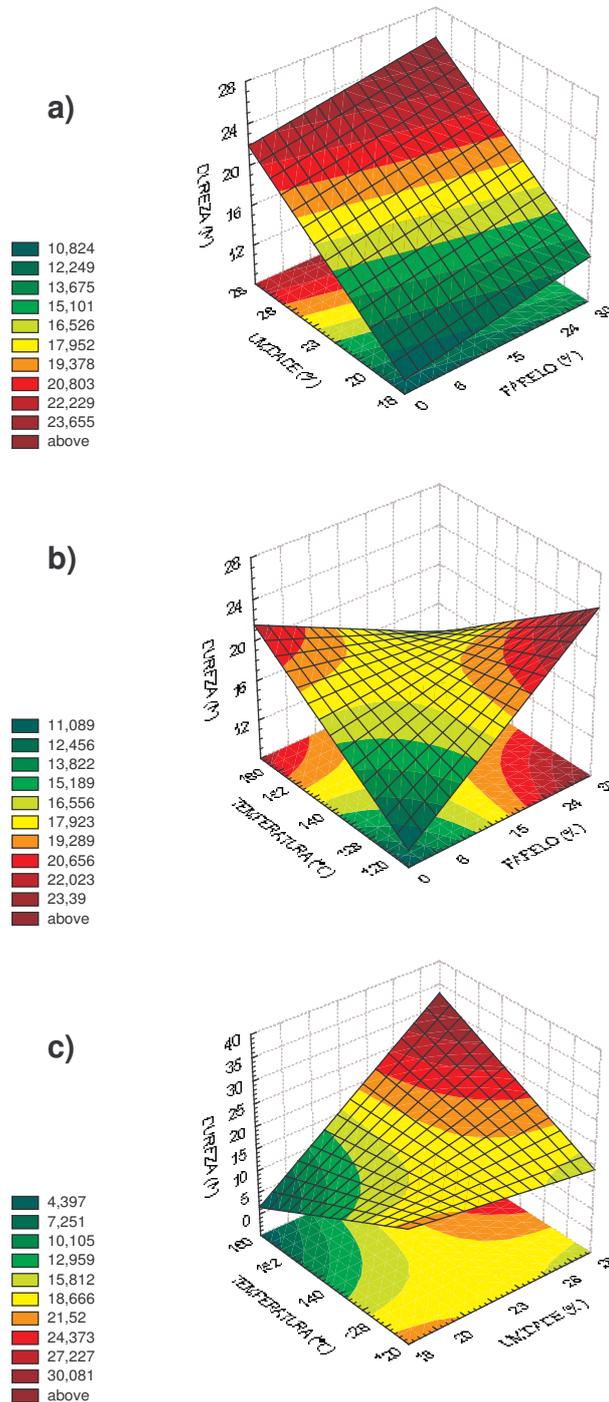


Figura 7. Superfícies de resposta para a dureza como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.

A textura é um fator crítico de qualidade para produtos crocantes e expandidos. Pode ser descrita pela deformação compressiva de sólidos a alta pressão. As propriedades mecânicas de alimentos a taxas altas de compressão estão relacionadas com as propriedades sensoriais de crocância, devido à mastigação envolver altas taxas de deformação (MERCIER, LINKO e HARPER, 1998). A dureza e a crocância dos extrusados são percepções dos consumidores e estão associadas com a expansão e com a estrutura das células dos extrusados (DING et al., 2005). No caso de “snacks”, deseja-se minimizar a dureza dos produtos extrusados, mas para cereais matinais é necessária uma estrutura mais fechada ou compacta para evitar a rápida absorção da umidade (no caso de imersão em leite).

Segundo Mercier, Linko e Harper (1998), a expansão de produtos extrusados relaciona-se diretamente à sua textura, sendo que produtos com grande expansão são mais crocantes devido ao fato da estrutura interna apresentar células maiores com paredes finas. Ainda segundo Mercier, Linko e Harper (1998), não existe uma metodologia ou teste aceitável para detectar a diferença de fragilidade ou dureza de produtos extrusados, embora vários autores tenham reportado dados de dureza de produtos extrusados utilizando o “probe” Warner-Bratzler (MENDONÇA; GROSSMANN e VERHÉ, 2000; CHANG et al., 2001; ONWULATA et al., 2001).

As superfícies de resposta encontradas para a dureza dos produtos extrusados deste projeto demonstraram que com menor umidade e menor teor de farelo de maracujá adicionado, e também, com menor teor de farelo adicionado e baixas temperaturas de processo, embora, com altas temperaturas e baixas umidades, foi obtida a menor dureza, dentro das faixas dos parâmetros estudados. Segundo a Equação 15, o efeito mais importante sobre a dureza foi a umidade e a interação dela com a temperatura. Ao aumentar a umidade, a dureza dos produtos extrusados aumentou significativamente. Ding et al. (2005) também encontraram que a umidade foi o fator mais significativo na dureza de extrusados expandidos à base de arroz, e que um aumento no teor de umidade resultou em um aumento na dureza. Além disso, encontraram que uma elevação na temperatura de processo aumentou a crocância, reduzindo, assim, a dureza.

Os resultados deste estudo estão em concordância com Mendonça, Grossmann e Verhé (2000), Rhee, Cho e Pradahn (1999) e Chang et al. (2001). Segundo estes autores, em produtos extrusados são desejados valores baixos de fraturabilidade e dureza, e concluíram que as melhores condições para a textura foram obtidas com teor de umidade baixo e altas temperaturas.

A água atua como plastificante para o material amiláceo que é deslocado no interior do extrusor, reduzindo a viscosidade e a energia mecânica. Com maior umidade, a gelatinização do amido é reduzida e o crescimento das bolhas é comprimido, resultando em um produto final mais denso e de baixa crocância. Seria esperado que um aumento na temperatura reduzisse a viscosidade do material fundido, o que favoreceria o crescimento das bolhas e produziria extrusados de baixa densidade, com células mais finas e com maior crocância (DING et al., 2005).

A redução da expansão e o aumento na força de corte são características de produtos com adição de fibras, resultados de uma queda na elasticidade devido à presença da fibra (ONWULATA et al., 2005). Neste trabalho, também foi comprovado o efeito do aumento do teor de farelo de maracujá sobre o aumento da dureza.

Os resultados também estão de acordo com o proposto por Mercier, Linko e Harper (1998) e Riaz (2002), já que estes autores relacionaram a presença de fibra alimentar à redução da expansão de “snacks”, indicando como consequência um aumento na dureza dos mesmos, e afirmaram também que as fibras geralmente reduzem a expansão do produto devido à ruptura das paredes das células antes que as bolhas de gás expandam até o tamanho máximo, resultando em produtos duros, compactos, não crocantes e com textura indesejável sensorialmente.

Já Ferreira (2005) reportou dados que não estão de acordo com este estudo. Ele obteve que os extrusados mais crocantes foram resultantes dos menores valores de umidade, maiores valores de temperatura e maiores teores de farelo de trigo, e destacou que maiores teores de farelo de trigo resultaram em “snacks” de estrutura mais fechada, porém, de menor dureza, com maior fragilidade.

4.2.1.3 Manutenção da textura em leite

A manutenção da textura em leite foi avaliada determinando-se a dureza dos extrusados após 5 minutos de imersão em leite. Também foi determinada a dureza nos tempos 1 e 2,5 minutos, segundo a metodologia descrita por Puppala (1998), mas, para a análise neste projeto, apenas os dados de 5 minutos foram utilizados.

Existe uma tendência de afinidade dos cereais matinais prontos para o consumo pelo meio aquoso devido às características e componentes que eles apresentam, como por exemplo, a quantidade de amido gelatinizado, teor de fibra adicionado ou porosidade devido à expansão. Isto é importante quando se pensa no “bowl-life” (vida de tigela) de cereais matinais, normalmente colocados em leite (PUPPALA, 1998). O ganho de

umidade depende da temperatura de imersão do meio aquoso e da composição e estrutura do cereal (MACHADO, OLIVEIRA e CUNHA, 1999).

Através dos resultados obtidos no planejamento experimental (Tabela 10), foi possível determinar os coeficientes de regressão para a determinação da dureza dos extrusados após 5 minutos de imersão em leite, apresentados na Tabela 15. Com exceção dos parâmetros quadráticos, todos os demais parâmetros do modelo foram significativos ($p < 0,10$), podendo-se elaborar um modelo com as variáveis codificadas, como apresentado na Equação 16.

Tabela 15. Coeficientes de regressão para a resposta dureza após 5 minutos em leite*

	Coeficientes Regressão	Erro Padrão	t(13)	p-valor
Média	12,22	0,48	25,22	4,39E-11
Farelo (L)	-1,86	0,56	-3,35	6,48E-03
Umidade (L)	1,39	0,56	2,50	2,93E-02
Temperatura (L)	-3,33	0,56	-5,99	9,11E-05
Farelo (L) x Umidade (L)	-1,72	0,73	-2,37	3,70E-02
Farelo (L) x Temperatura (L)	-2,36	0,73	-3,25	7,76E-03
Umidade (L) x Temperatura (L)	1,55	0,73	2,13	5,66E-02

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$)

Pela análise de variância apresentada na Tabela 16, observa-se que o modelo que descreve a dureza dos extrusados após 5 minutos de imersão em leite, em função das variáveis estudadas, com os parâmetros estatisticamente significativos, foi aceitável, visto que a porcentagem de variação explicada (R^2) foi de 87% e a razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi de 5,16, permitindo a construção das superfícies de resposta (Figura 8).

Tabela 16. Análise de variância para a dureza após 5 minutos em leite

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	Fcalc	p
Regressão	312,92	6	52,15	12,34	0,0003
Resíduo	46,49	11	4,23		
Total	359,41	17			

$R^2 = 87\%$; $F_{6;11;0,90} = 2,39$

Em vista dos resultados obtidos na análise de variância, foi obtido o modelo codificado representado na Equação 16, indicando a possibilidade da dureza após 5 minutos no leite ser estimada em função do teor de farelo de maracujá, da umidade inicial da matéria-prima e da temperatura do processo, desde que estas variáveis sejam analisadas nas faixas de variação utilizadas neste estudo.

$$D5 = 12,22 - 1,86 * F + 1,39 * U - 3,33 * T - 1,72 * F * U - 2,36 * F * T + 1,55 * U * T$$

(Equação 16)

onde:

D5 = Dureza dos extrusados após 5 minutos de imersão em leite

F = Farelo de maracujá (%)

U = Umidade inicial da matéria-prima (%)

T = Temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C)

Como o modelo foi considerado significativo, foi possível construir as superfícies de resposta (Figura 8) e definir as regiões de interesse, que neste estudo seriam as que maximizassem a dureza após 5 minutos de imersão em leite. A tabela de desvios relativos, para garantir a validade do modelo, encontra-se no Apêndice 1.

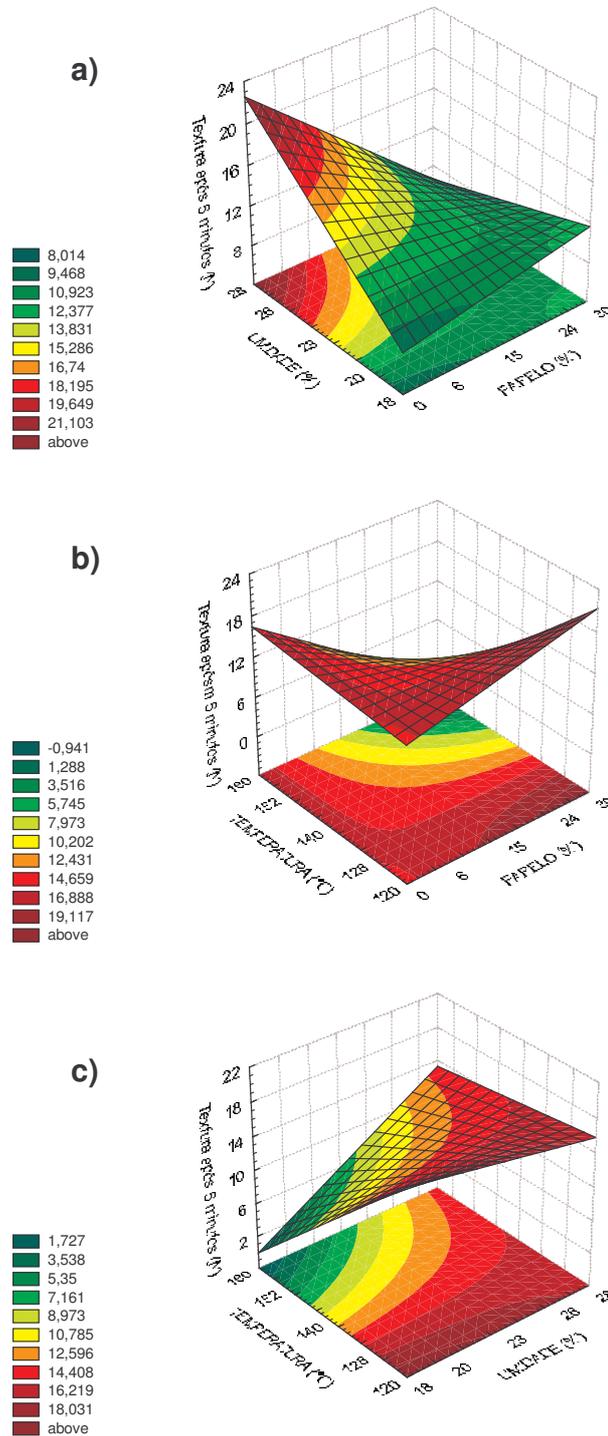


Figura 8. Superfícies de resposta para a dureza após 5 minutos em leite como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.

Na Equação 16 foi observado que a temperatura foi o parâmetro que mais influenciou negativamente na textura do produto após 5 minutos na imersão em leite, assim como o teor de farelo e as interações do farelo com a umidade e a temperatura.

As superfícies de resposta encontradas para a dureza dos extrusados após 5 minutos de imersão em leite, quando analisados os efeitos do teor de farelo e da umidade da matéria-prima, mantendo-se a temperatura constante no ponto central (140°C), demonstraram que a umidades maiores que 23% e teores de farelo menores que 9% foi mantida a textura dos extrusados após 5 minutos de imersão em leite. Enquanto que a umidades menores que 23% e teores de farelo maiores que 9% a dureza diminuiu significativamente. Quando analisados os efeitos da temperatura do processo e do teor de farelo, mantendo-se a umidade constante no ponto central (23%), observou-se que a altas temperaturas e alto teor de farelo a dureza caiu drasticamente. As superfícies de resposta encontradas para esta resposta, quando analisados os efeitos da temperatura do processo e da umidade, a um teor de farelo constante (15%), observou-se uma queda significativa na textura a partir de 140°C e a umidades menores que 20%, ou seja, condições severas de processamento que normalmente favorecem a gelatinização do amido.

O fenômeno da perda de dureza após 5 minutos de imersão em leite deve-se à afinidade dos extrusados (dos grupos hidrofílicos das moléculas dos dois constituintes do amido: amilose e amilopectina) pelo meio aquoso. Durante a extrusão termoplástica, os grânulos de amido sofrem gelatinização e o amido gelatinizado pode absorver mais água do que em seu estado natural, devido às mudanças conformacionais e estruturais, já que tem seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado, contribuindo para a absorção de água (ALVIM, SGARBIERI e CHANG, 2002). Segundo Sacchetti, Pittia e Pinnavaia (2005), ao extrusar a altas temperaturas aumenta o grau de gelatinização do amido, diminuindo a densidade e a dureza. Produtos com maior teor de amido gelatinizado tendem a absorver água mais facilmente. Eles também reportaram que produtos menos densos e mais porosos tendem a perder a sua textura mais rapidamente que produtos mais densos e compactos. Os poros presentes na estrutura dos expandidos deixam a água se difundir mais facilmente pela matriz do extrusado (MACHADO et al., 1998).

Altas taxas de cisalhamento e baixa umidade podem causar uma dextrinização severa das moléculas do amido, o que resultaria em um aumento rápido da umidade quando o produto é imerso em meio aquoso (MACHADO, OLIVEIRA e CUNHA, 1999). Entretanto, neste estudo não se trabalhou com condições tão severas.

O fato dos extrusados perderem dureza após certo tempo de imersão em leite segundo aumenta o teor de farelo, deve-se à capacidade do farelo de maracujá como matéria-prima para absorver água. O farelo “in natura” absorveu em média 14,38 g água/g material seco, valor muito maior do que o encontrado para a farinha de milho, a qual conseguiu absorver 3,33 g de água/g de matéria seca (item 4.1.3.1).

A temperatura do meio aquoso também está relacionada com a perda da textura. A taxa de absorção de água aumenta à medida que aumenta a temperatura do meio aquoso (MACHADO et al., 1998). Machado et al. (1998) demonstraram que cereais matinais expandidos à base de milho precisaram mais de 1,5 h para absorver 63% de água a 5°C, enquanto que 8 minutos foram suficientes a 55°C. Segundo vários pesquisadores, uma cobertura de açúcar geralmente é adicionada aos cereais matinais para retardar a absorção de água, aumentando assim o “bowl-life” dos produtos quando submetidos a um meio aquoso (MACHADO, OLIVEIRA e CUNHA, 1999; SACCHETTI et al., 2003).

4.2.1.4 Cor

Os resultados da análise de cor apresentados na Tabela 10 são a média aritmética de 4 repetições e foram utilizados nas análises estatísticas para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre a luminosidade (L^*), o croma (C^*) e o ângulo de tonalidade (h_{ab}) dos produtos extrusados. Os valores estão apresentados sem desvios padrão, pois as médias aritméticas de L^* , a^* e b^* (estes dois últimos utilizados para calcular C^* e h_{ab}) foram calculadas automaticamente pelo programa do equipamento utilizado.

4.2.1.4.1 Luminosidade

Pelo observado nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 10), os produtos extrusados apresentaram valores de luminosidade (L^*) entre 44,15 e 68,26; valores de croma (C^*) entre 21,77 e 31,15; e, valores de ângulo de tonalidade (h_{ab}) entre 70,89° e 83,44°, como valores mínimos e máximos, respectivamente, para os 18 ensaios.

Através dos resultados obtidos, foi possível determinar os coeficientes de regressão. Na Tabela 17, se destacam os parâmetros que tiveram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) para a resposta luminosidade. Nota-se que a luminosidade foi influenciada somente pelo teor de farelo de maracujá e pela temperatura, enquanto que a umidade não teve efeito significativo sobre esta resposta.

Tabela 17. Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade (L*)*

	Coeficientes Regressão	Erro Padrão	t(14)	p-valor
Média	53,54	1,02	52,38	0,00000
Farelo (L)	-3,76	0,88	-4,25	0,00081
Farelo (Q)	1,75	0,89	1,97	0,06867
Temperatura (L)	4,24	0,88	4,79	0,00029

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10)

A Tabela 18 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para a luminosidade, sendo o coeficiente de variação (R^2) igual a 0,76 e o valor de $F_{\text{calculado}}$ 8,91 vezes maior que o F_{tabelado} , a 10% de significância. Com estes valores, o modelo pode ser considerado estatisticamente significativo.

Tabela 18. Análise de variância para a luminosidade (L*)

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	Fcalc	p
Regressão	479,75	3	159,92	14,96	0,0001
Resíduo	149,63	14	10,69		
Total	629,37	17			

$R^2 = 76\%$; $F_{2;15;0,90} = 2,7$

Em vista dos resultados obtidos na análise de variância, foi obtido o modelo codificado representado na Equação 17, que mostra a possibilidade da luminosidade ser estimada em função do teor de farelo de maracujá e da temperatura de processo, desde que estas variáveis sejam analisadas nas faixas de variação utilizadas neste estudo.

$$L^* = 53,54 - 3,76 * F + 1,75 * F^2 + 4,24 * T \quad \text{(Equação 17)}$$

onde:

F = Farelo de maracujá (%)

T = Temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C)

A tabela de desvios relativos para garantir a validade do modelo encontra-se no Apêndice 2. A partir do modelo obtido, foi possível construir as superfícies de resposta para a luminosidade, apresentadas na Figura 9, e que permitem visualizar as melhores condições para as variáveis independentes utilizadas neste projeto.

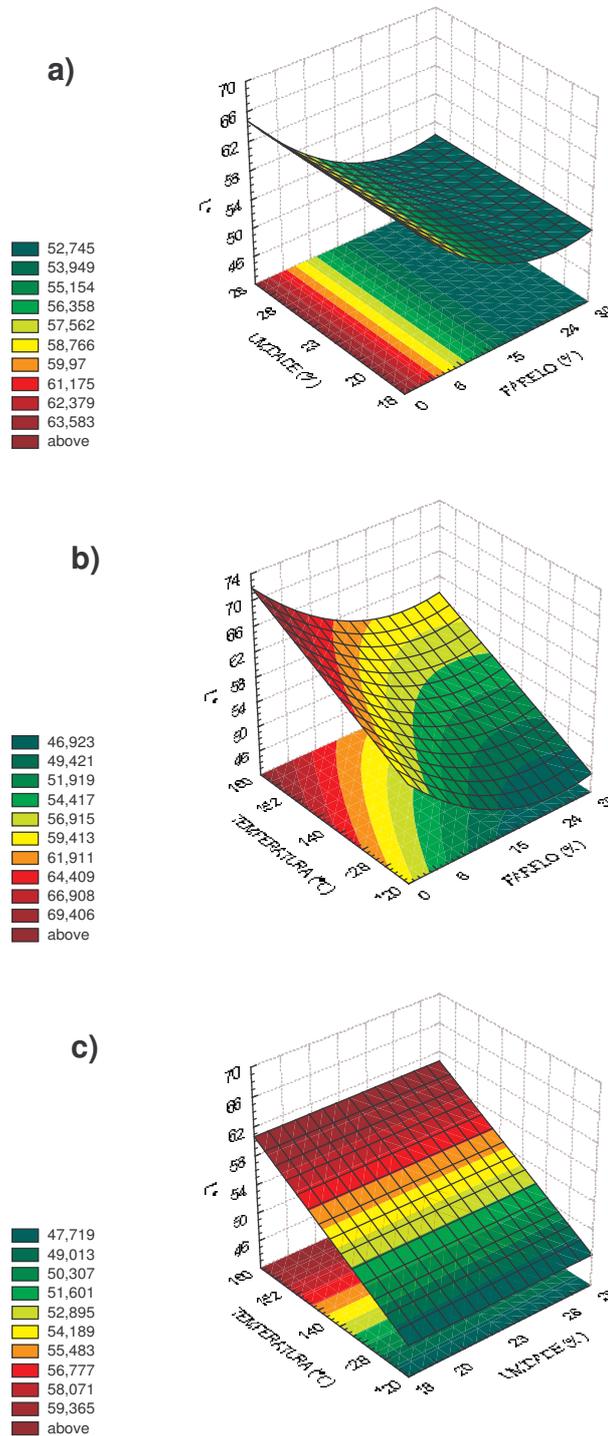


Figura 9. Superfícies de resposta para a luminosidade (L^*) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.

Na Figura 9, que apresenta as superfícies de resposta para a luminosidade, observou-se claramente que neste estudo a umidade não teve efeito significativo sobre esta resposta. Além disso, observou-se que altos níveis de farelo de maracujá diminuíram o valor de L^* , produzindo extrusados mais escuros. O escurecimento dos produtos extrusados pode ser atribuído à cor escura que apresenta o farelo “in natura”, antes de entrar no extrusor, quando comparado com a cor amarela da farinha de milho. Pelo contrário, quando a temperatura aumenta, observa-se um aumento no valor de L^* , produzindo extrusados mais claros.

Ilo e Berghofer (1999) avaliaram diferentes parâmetros do processo de extrusão em produtos à base de milho e concluíram que os únicos parâmetros significativos na análise de cor foram a temperatura de processo e a umidade inicial das matérias-primas. Valores de L^* dos extrusados diminuíram com o aumento da temperatura (140 - 180°C) e aumentaram ao se elevar a umidade (13 – 17%). Eles obtiveram valores de L^* entre 73,00 e 86,17, enquanto que os valores encontrados neste estudo variaram entre 44,15 e 68,26. Esta diferença nos valores deve-se a que eles utilizaram somente farinha de milho sem a adição de fibras, por isso, obtiveram extrusados mais claros (valores maiores de L^*).

Segundo o estudo realizado por Liu et al. (2000), que avaliaram produtos extrusados de farinha de milho com farelo de aveia, um aumento na umidade da matéria-prima diminuiu o valor de L^* , produzindo escurecimento nos produtos.

Já Ferreira (2005), reportou valores de L^* entre 42,77 e 64,41, valores parecidos aos encontrados neste estudo. Ele também concluiu que a umidade teve pouco efeito sobre esta resposta e que a temperaturas maiores e menores teores de farelo de trigo adicionados foram obtidos “snacks” mais claros.

Ilo, Liu e Berghofer (1999), ao extrusar farinha de amaranto com farinha de arroz, encontraram que a mudança na cor foi totalmente dependente do conteúdo de amaranto nas misturas e da temperatura de processo; o aumento da temperatura de processo aumentou a taxa das reações de escurecimento. Os efeitos encontrados no presente estudo não concordam com os reportados por estes autores. Neste estudo, o aumento da temperatura nas condições de processo utilizadas proporcionou extrusados mais claros, já que os extrusados apresentaram superfície esbranquiçada.

4.2.1.4.2 Croma

Através dos resultados do planejamento foi possível determinar os efeitos dos fatores sobre a resposta do croma, que representa saturação da cor, apresentados na Tabela 19. Analisando estes efeitos observou-se que os únicos parâmetros que tiveram efeito significativo ($p < 0,10$) foram o teor de farelo e a interação do teor de farelo com a temperatura de processo. No entanto, o modelo e as superfícies de resposta não foram considerados, pois, ao ignorar os efeitos não-significativos, o coeficiente de determinação (R^2) apresentou um valor baixo e os resíduos foram altos. Este comportamento se deve ao fato dos extrusados apresentarem valores de croma muito próximos entre si (Tabela 10), independente do teor de farelo de maracujá adicionado, da umidade inicial da matéria-prima e da temperatura do processo, considerando as faixas de variação das variáveis avaliadas neste estudo.

Tabela 19. Análise dos efeitos para a resposta croma (C^*)

	Efeitos	Erro Padrão	t(8)	p-valor
Média	23,76	0,87	27,08	0,0000
Farelo (L)*	-4,01	0,95	-4,24	0,0028
Farelo (Q)*	2,00	0,98	2,04	0,0757
Umidade (L)	-1,28	0,95	-1,36	0,2119
Umidade (Q)	0,24	0,98	0,25	0,8105
Temperatura (L)	-0,29	0,95	-0,30	0,7688
Temperatura (Q)	1,82	0,98	1,85	0,1018
Farelo (L) x Umidade (L)	1,38	1,24	1,11	0,2975
Farelo (L) x Umidade (L)*	2,33	1,24	1,89	0,0958
Umidade (L) x Temperatura (L)	1,70	1,24	1,38	0,2057

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$), $R^2 = 0,80$

Como não foi possível estabelecer um modelo matemático para o croma, em função das variáveis estudadas, a escolha de qualquer teor de farelo de maracujá adicionado, umidade da matéria-prima e temperatura do processo, dentro das faixas utilizadas, não conduzirá a diferença no croma do produto final.

4.2.1.4.3 Ângulo de tonalidade

O ângulo de tonalidade h_{ab} , expresso em graus, define a coloração dos produtos, sendo, neste estudo, 0 graus igual a $+a^*$, ou seja, cor vermelha, e 90 graus igual a $+b^*$, ou seja, cor amarela. De forma geral, observou-se que todos os extrusados apresentaram uma tonalidade mais amarelada, pois os valores reportados para o h_{ab} foram na faixa de 70° a 84° (Tabela 10). Este fato deve-se à coloração amarela da farinha de milho.

Através dos resultados obtidos no planejamento (Tabela 10), foi possível determinar os coeficientes de regressão a $p < 0,10$ (Tabela 20) para o ângulo de tonalidade (h_{ab}).

Tabela 20. Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade (h_{ab})*

	Coeficientes Regressão	Erro Padrão	t(13)	p-valor
Média	75,49	0,60	125,92	0,0000
Farelo (L)	-2,21	0,52	-4,25	0,0009
Farelo (Q)	1,00	0,52	1,92	0,0766
Temperatura (L)	1,57	0,52	3,03	0,0097
Farelo (L) x Umidade (L)	0,94	0,68	1,39	0,1188

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$)

Pela análise de variância apresentada na Tabela 21, observou-se que o modelo que descreve a resposta h_{ab} em função das variáveis estudadas, com os parâmetros estatisticamente significativos, foi aceitável, visto que a porcentagem de variação explicada foi maior que 70% e a razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi de 3,38, permitindo a construção das superfícies de resposta (Figura 10).

Tabela 21. Análise de variância para o ângulo de tonalidade (h_{ab})

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	Fcalc	p
Regressão	120,81	4	30,20	8,22	0,0016
Resíduo	47,79	13	3,68		
Total	168,60	17			

$R^2 = 72\%$; $F_{4;13;0,90} = 2,43$

Em vista dos resultados obtidos na análise de variância, foi obtido o modelo codificado representado na Equação 18, que mostra a possibilidade do ângulo de tonalidade ser estimado em função do teor de farelo de maracujá, teor de umidade inicial da matéria-prima e da temperatura de processo, desde que estas variáveis sejam analisadas nas faixas de variação utilizadas neste estudo.

$$h_{ab} = 75,49 - 2,21 * F + 1,00 * F^2 + 1,57 * T + 0,94 * F * U \quad \text{(Equação 18)}$$

onde:

F = Farelo de maracujá (%)

U = Umidade inicial da matéria-prima (%)

T = Temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C)

A tabela de desvios relativos para garantir a validade do modelo encontra-se no Apêndice 2. A partir do modelo obtido, foi possível construir as superfícies de resposta para o ângulo de tonalidade, apresentadas na Figura 10, e que permitem visualizar as melhores condições para as variáveis independentes utilizadas neste projeto.

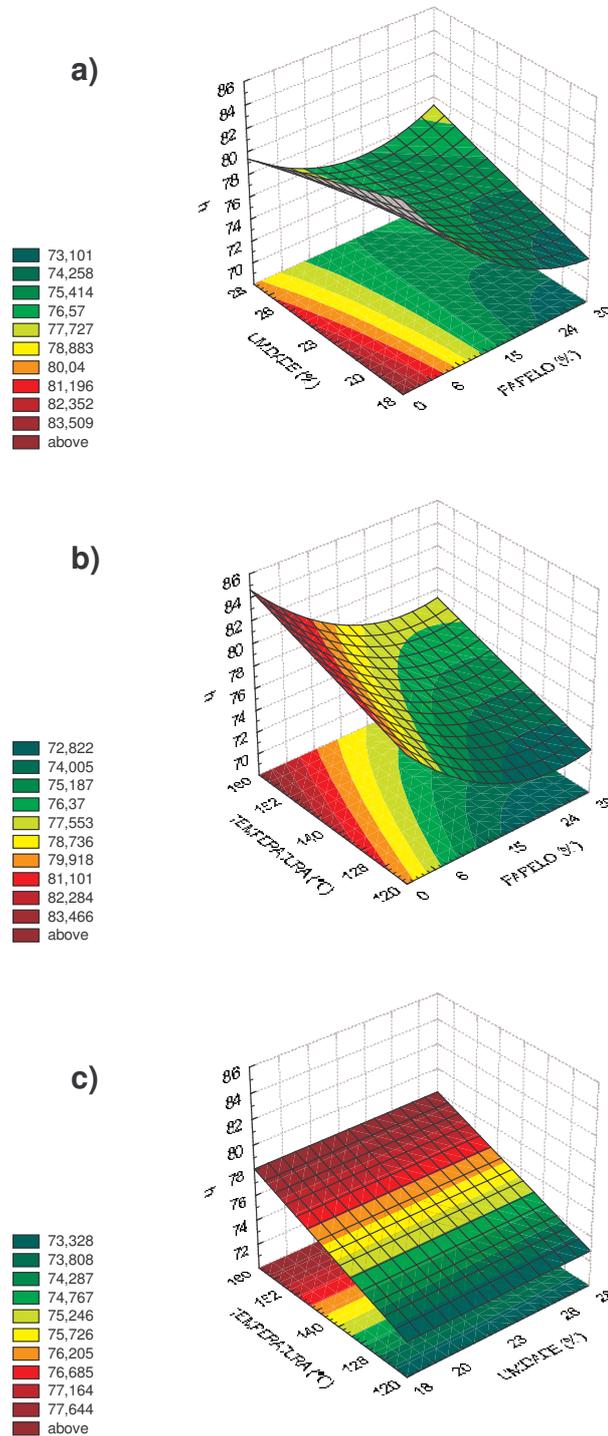


Figura 10. Superfícies de resposta para o ângulo de tonalidade (h_{ab}) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.

Em geral, os parâmetros de cor são medidos como uma importante característica da aparência do produto. A cor dos produtos extrusados é utilizada também como um indicador dos parâmetros do processo de extrusão, assim como da intensidade da reação de Maillard (CAMIRE; CAMIRE e KRUMHAR, 1990; MERCIER; LINKO e HARPER, 1998; CHANG et al., 2001).

Segundo a Figura 10, observou-se que ao aumentar o teor de farelo de maracujá, o h_{ab} diminuiu, produzindo extrusados menos amarelos. Por outro lado, ao aumentar a temperatura, o h_{ab} aumentou, produzindo extrusados mais amarelos. Não foram encontrados na literatura dados reportados sobre o ângulo de tonalidade para a caracterização de produtos extrusados.

No processo de extrusão termoplástica ocorre a degradação de pigmentos (ILO, LIU e BERGHOFER, 1999). Extrusados à base de farinha de milho são ricos em carotenóides. A decomposição dos pigmentos do milho e a expansão dos extrusados durante o processo de extrusão afetam significativamente a cor dos produtos (LIU et al., 2000). Uma maior expansão faz os pigmentos escuros disseminarem, produzindo produtos que parecem mais claros (MERCIER, LINKO E HARPER, 1998).

As condições de processo utilizadas na extrusão termoplástica, ou seja, altas temperaturas e baixas umidades são favoráveis para a reação de Maillard que é conhecida como reação de escurecimento não-enzimático, e é a reação entre um açúcar redutor e um grupo amino livre de um aminoácido, usualmente da lisina (CAMIRE; CAMIRE e KRUMHAR, 1990; MERCIER; LINKO e HARPER, 1998). As repercussões da reação de Maillard são duas, tanto nutricionais, pela perda de lisina, assim como sensoriais, pela formação de compostos coloridos que influenciam a aparência e o sabor dos produtos (MERCIER, LINKO E HARPER, 1998). No entanto, neste estudo, não foi possível definir a intensidade da reação de Maillard, devido à superfície esbranquiçada que apresentaram os produtos extrusados.

Além da influência da temperatura, o fator mais importante sobre a cor dos produtos extrusados foi o teor de farelo, como pode também ser observado visualmente na Figura 11.

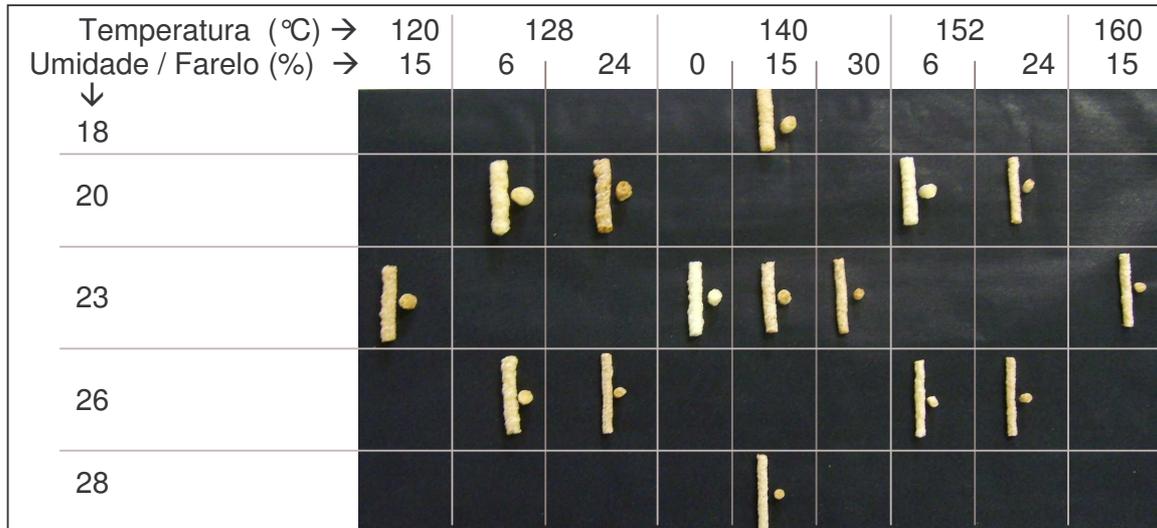


Figura 11. Produtos extrusados em diferentes condições

4.2.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Os resultados (médias e desvios padrão) obtidos a partir do planejamento experimental composto central rotacional 2^3 para verificar os efeitos do teor de fibras (%), umidade da matéria-prima (%) e temperatura da 2ª e 3ª zonas de extrusão (°C) sobre as propriedades físico-químicas dos produtos extrusados estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Propriedades físico-químicas dos produtos extrusados

E	X1	X2	X3	ISA	IAA	ISL	IAL	IAO
1	-1	-1	-1	22,13 ± 1,04	8,37 ± 0,23	33,79 ± 0,84	12,11 ± 0,05	2,73 ± 0,30
2	+1	-1	-1	20,90 ± 0,59	8,41 ± 0,37	30,88 ± 1,38	9,96 ± 0,36	2,77 ± 0,03
3	-1	+1	-1	18,46 ± 0,56	8,62 ± 0,29	30,40 ± 1,41	12,54 ± 0,22	2,88 ± 0,33
4	+1	+1	-1	24,79 ± 1,22	8,79 ± 0,26	29,99 ± 2,08	10,64 ± 0,18	3,18 ± 0,06
5	-1	-1	+1	22,34 ± 0,43	8,70 ± 0,10	36,14 ± 0,97	10,29 ± 0,24	3,85 ± 0,07
6	+1	-1	+1	30,40 ± 0,15	9,16 ± 0,34	44,30 ± 0,96	10,80 ± 0,72	3,20 ± 0,05
7	-1	+1	+1	31,91 ± 0,35	9,55 ± 0,69	52,52 ± 1,65	15,37 ± 0,23	3,61 ± 0,12
8	+1	+1	+1	35,15 ± 0,88	9,32 ± 0,56	55,44 ± 3,00	15,07 ± 1,11	3,34 ± 0,00
9	-α	0	0	20,52 ± 0,54	8,46 ± 0,38	37,29 ± 1,35	10,36 ± 0,55	3,21 ± 0,06
10	+α	0	0	27,02 ± 0,13	7,84 ± 0,21	43,15 ± 2,77	10,19 ± 0,54	3,03 ± 0,03
11	0	-α	0	27,18 ± 0,03	7,94 ± 0,63	37,95 ± 2,28	9,50 ± 0,20	3,21 ± 0,04
12	0	+α	0	23,50 ± 0,56	8,28 ± 0,04	38,73 ± 3,25	10,09 ± 0,85	3,01 ± 0,05
13	0	0	-α	17,70 ± 0,29	7,57 ± 0,16	41,91 ± 2,78	10,56 ± 0,56	3,07 ± 0,04
14	0	0	+α	30,07 ± 0,66	9,22 ± 0,23	43,24 ± 4,74	12,01 ± 0,82	3,25 ± 0,04
15	0	0	0	25,55 ± 1,42	9,09 ± 0,20	36,87 ± 2,52	10,49 ± 0,50	3,18 ± 0,07
16	0	0	0	24,68 ± 1,21	8,40 ± 0,67	37,49 ± 0,62	9,86 ± 0,48	3,02 ± 0,03
17	0	0	0	22,15 ± 0,37	8,63 ± 0,40	35,64 ± 1,79	9,95 ± 0,13	3,19 ± 0,10
18	0	0	0	22,06 ± 1,88	8,69 ± 0,29	35,53 ± 1,78	9,35 ± 0,35	3,01 ± 0,07

E: ensaio; X1=teor de farelo de maracujá (%); X2=umidade da matéria-prima (%); X3=temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C); α = (2^k)^{1/4} = 1,68.

ISA = Índice de Solubilidade em Água (%); IAA = Índice de Absorção de Água (g água/ g de amostra seca); ISL = Índice de Solubilidade em Leite (%); IAL = Índice de Absorção de Leite (g leite/g amostra seca); IAO = Índice de Absorção de Óleo (g óleo/g amostra seca).

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

Quando produtos extrusados à base de farinhas ou amidos são dispersos em excesso de água, as principais propriedades funcionais são: a absorção de água e a solubilidade em água. Amidos nativos não absorvem água facilmente à temperatura ambiente e a sua viscosidade é quase zero, enquanto produtos extrusados absorvem água formando um gel à temperatura ambiente. Estas propriedades são influenciadas pelo tamanho de partícula; quando se trabalha com partículas menores, aumenta a taxa e o nível de absorção. O IAA está relacionado com o grau de intumescimento ou gelatinização do amido, porque somente grânulos de amido gelatinizado conseguem

absorver água em temperatura ambiente, aumentando a viscosidade. Por outro lado, o ISA está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis, como resultado de uma dextrinização, ou seja, mede o grau de danificação do amido (MERCIER, LINKO E HARPER, 1998).

Os resultados apresentados na Tabela 22 para o ISA e para o IAA são a média aritmética de 3 repetições e estes valores foram utilizados nas análises estatísticas para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre estas respostas.

Foi observado que os produtos extrusados apresentaram valores de ISA entre 17,70 e 35,15%, e de IAA entre 7,57 e 9,55 g de água/g material seco, como valores mínimos e máximos, respectivamente, para os 18 ensaios. Os valores de ISA reportados por Ferreira (2005), encontram-se na faixa de 24,43 a 52,11%, ao extrusar farinha de milho com farelo de trigo. Por outro lado, quando comparados os valores para o IAA, Ferreira (2005) apresentou valores entre 4,82 e 6,74 g de água/g material seco, valores mais baixos do que neste estudo, diferença devida provavelmente à presença de pectina no farelo de maracujá (e não no farelo de trigo).

4.2.2.1.1 Índice de solubilidade em água (ISA)

Através dos resultados do planejamento, foi possível determinar os coeficientes de regressão para a resposta ISA, apresentados na Tabela 23, que indicam que as variáveis que afetaram a resposta analisada foram: o teor de farelo de maracujá adicionado e a temperatura do processo e a interação da umidade com a temperatura.

Tabela 23. Coeficientes de regressão para a resposta índice de solubilidade em água (ISA)*

	Coeficientes Regressão	Erro Padrão	t(14)	p-valor
Média	24,81	0,58	42,52	0,00000
Farelo (L)	2,00	0,67	2,99	0,00979
Temperatura (L)	3,98	0,67	5,94	0,00004
Umidade (L) x Temperatura (L)	1,76	0,88	2,01	0,06354

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$)

A Tabela 24 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, sendo o coeficiente de variação (R^2) igual a 0,78 e o valor de $F_{\text{calculado}}$ 6,38 vezes maior que o F_{tabelado} , a 10% de significância.

Tabela 24. Análise de variância para o índice de solubilidade em água ISA

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F _{calc}	p
Regressão	295,70	3	98,57	16,09	0,0001
Resíduo	85,78	14	6,13		
Total	381,47	17			

$R^2 = 78\%$; $F_{3;14;0,90} = 2,52$

Considerando-se os parâmetros significativos ($p < 0,10$), obteve-se o modelo para uso com as variáveis codificadas descrito na Equação 19. O modelo matemático demonstra que a quantidade de farelo de maracujá adicionado, a temperatura do processo e a interação da umidade com a temperatura tiveram um efeito positivo sobre este índice. Segundo a equação, pode-se observar que o coeficiente de regressão mais significativo foi a temperatura do processo, sendo toda a equação uma expressão linear.

$$ISA = 24,81 + 2,00 * F + 3,98 * T + 1,76 * U * T \quad \text{(Equação 19)}$$

onde:

F = Farelo de maracujá (%)

U = Umidade inicial da matéria-prima (%)

T = Temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C)

Foram calculados os desvios relativos para garantir a validade do modelo e a tabela com esses valores encontra-se no Apêndice 3. Os desvios relativos (em %) entre os valores experimentais e os preditos para esta resposta foram relativamente baixos, demonstrando a validade do modelo. A partir do modelo obtido, foi possível gerar as superfícies de resposta para o ISA, apresentadas na Figura 12, permitindo visualizar as melhores condições para as variáveis independentes utilizadas neste projeto.

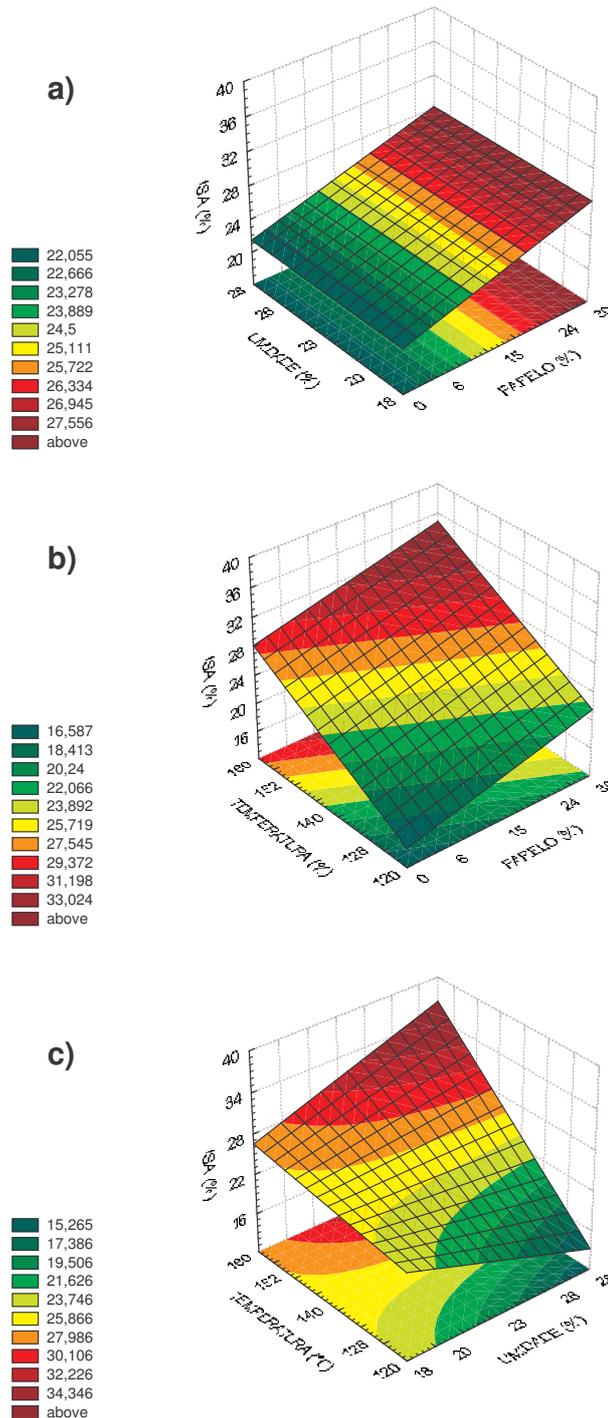


Figura 12. Superfícies de resposta para o índice de solubilidade em água (ISA) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.

O índice de solubilidade em água normalmente é utilizado em produtos extrusados como indicador da degradação de componentes moleculares. Indica, por exemplo, o grau de conversão do amido durante o processo, medindo a quantidade de polissacarídeos solúveis liberados das macromoléculas componentes do amido após o processo de extrusão (DING et al., 2005).

Na Figura 12, observou-se que a umidade não teve efeito quando analisada com o farelo (mantendo-se a temperatura constante em 140°C), e valores maiores de ISA foram encontrados para maiores teores de farelo nos produtos extrusados. A extrusão reduz o peso molecular da pectina e hemiceluloses, resultando em um aumento no índice de solubilidade em água (RALET, VALLE E THIBAULT, 1993; RIAZ, 2002).

Os valores de ISA estão diretamente relacionados com a temperatura. Quando níveis de temperatura maiores foram utilizados, maiores valores de ISA foram obtidos. O ISA depende da intensidade e do tipo de reações que ocorrem durante a extrusão, influenciando a quantidade de moléculas solúveis. Além da gelatinização do amido, que resulta na liberação de amilose e amilopectina, pode ocorrer também a dextrinização dos componentes do amido e outras reações que conduzem à formação de compostos de baixo peso molecular, influenciando o ISA (ALVIM, SGARBIERI e CHANG, 2002; RIAZ 2002). Na Figura 12c, observa-se que os menores valores de ISA foram obtidos quando os produtos foram processados a menores temperaturas e maiores umidades, ou seja, as condições menos drásticas.

Segundo Ozcan e Jackson (2005), a solubilidade de farinhas extrusadas apresentou valores altos (24%). Durante a extrusão, a estrutura do amido é rompida e as regiões cristalinas são fundidas. Depois, as altas condições de cisalhamento, temperatura e pressão dentro do extrusor, resultam em uma fragmentação molecular aumentando o índice de solubilidade em água. Segundo Ralet, Dellas-Valle e Thibault (1993), após o tratamento de extrusão termoplástica, foi observada uma redistribuição de fibra insolúvel para solúvel, indicando uma solubilização parcial da fibra, e afirmaram que o material solubilizado, em sua maioria, foram carboidratos, como a xilose, a galactose, e o ácido urônico. Eles indicaram que este aumento pode ocorrer em função da solubilização de substâncias pécticas neutras ou de cadeias laterais pécticas, mais que de ramnogalacturonanas e polímeros hemicelulósicos, e que a cadeia central de celulose não foi degradada.

Quando comparados os resultados da farinha de milho (ISA = 7,14%) com os produtos extrusados, observou-se um incremento no valor do ISA. As amostras

extrusadas com maior teor de farelo de maracujá tiveram os maiores valores de ISA, embora essas formulações tenham menor quantidade de farinha (amido) para sofrer dextrinização. Este fenômeno deve-se aos valores do ISA das matérias-primas, pois o farelo de maracujá apresentou um valor aproximadamente 4 vezes maior que a farinha de milho, ou seja, uma maior incorporação de farelo de maracujá nos produtos extrusados favoreceu um aumento nos valores do ISA, devido a sua composição, além da possível solubilização da fibra.

4.2.2.1.2 Índice de absorção de água (IAA)

Através dos resultados do planejamento foi possível determinar os efeitos dos fatores sobre o IAA, apresentados na Tabela 25. Analisando a tabela, observa-se que o único efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) foi a temperatura do processo, de forma linear. Além disso, os erros padrão de todos os efeitos apresentaram-se elevados. Por isso, o modelo matemático e as superfícies de resposta não foram considerados para esta resposta, já que ao eliminar da análise estatística os efeitos não-significativos, o coeficiente de variação (R^2) apresentou um valor muito baixo (43%) e os resíduos apresentaram valor alto. Este comportamento se deve ao fato dos extrusados apresentarem valores de IAA muito próximos entre si (Tabela 22), independente das quantidades adicionadas de farelo de maracujá, da umidade inicial da matéria-prima e da temperatura de processo, considerando as faixas de valores avaliados neste estudo.

Tabela 25. Análise dos efeitos para a resposta índice de absorção de água (IAA)

	Efeitos	Erro Padrão	t(8)	p-valor
Média	8,67	0,26	33,83	0,0000
Farelo (L)	-0,09	0,28	-0,32	0,757
Farelo (Q)	-0,10	0,29	-0,34	0,743
Umidade (L)	0,32	0,28	1,16	0,279
Umidade (Q)	-0,12	0,29	-0,43	0,678
Temperatura (L)*	0,78	0,28	2,80	0,023
Temperatura (Q)	0,08	0,29	0,26	0,799
Farelo (L) x Umidade (L)	-0,14	0,36	-0,39	0,706
Farelo (L) x Umidade (L)	0,005	0,36	0,01	0,989
Umidade (L) x Temperatura (L)	0,10	0,36	0,27	0,795

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$); $R^2 = 60\%$

Devido à impossibilidade de estabelecer um modelo matemático em função das variáveis estudadas, a escolha de qualquer teor de farelo de maracujá adicionado, umidade da matéria-prima e temperatura do processo, dentro das faixas utilizadas, não conduzirá a diferenças no IAA do produto final.

4.2.2.2 Índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)

Os resultados apresentados na Tabela 22 para o ISL e IAL são a média aritmética de 3 repetições. Estes valores foram utilizados nas análises estatísticas para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre estas respostas.

Observou-se, nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 22), que os produtos extrusados apresentaram valores para o ISL entre 29,99 e 55,44%, e para o IAL entre 9,35 e 15,37 g de leite/g de material seco, como valores mínimo e máximo, respectivamente, para os 18 ensaios.

Quando comparados estes valores com o ISA e o IAA, observou-se um incremento nos índices, indicando que houve maior solubilização e absorção em leite.

Através dos resultados do planejamento, foi possível determinar os efeitos dos fatores, tanto para o ISL como para o IAL, apresentados na Tabela 26. Analisando a Tabela 26, observa-se que o único efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) para o ISL foi a temperatura do processo, de forma linear, e a interação entre umidade e

temperatura. Além disto, todos os erros padrão apresentaram valores relativamente altos, quando comparados com os respectivos efeitos. Já para o IAL, os fatores que apresentaram efeito significativo ($p < 10$) foram: a umidade (linear), a temperatura (quadrática) e a interação entre as duas variáveis. No entanto, o modelo matemático e as superfícies de resposta não foram considerados para nenhuma destas respostas, já que ao eliminar da análise estatística os efeitos não-significativos, os coeficientes de variação (R^2) apresentaram valores muito baixos e os resíduos foram altos. Este comportamento se deve ao fato dos extrusados apresentarem valores de ISL e IAL muito próximos entre si (Tabela 22), independente do teor de farelo de maracujá adicionado, da umidade inicial da matéria-prima e da temperatura de processo, considerando as faixas de valores avaliados neste estudo.

Tabela 26. Análise dos efeitos para as respostas índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção de leite (IAL)

	Efeitos		Erro Padrão		T(8)		p-valor	
	ISL	IAL	ISL	IAL	ISL	IAL	ISL	IAL
Média	36,45	9,83	2,68	0,67	13,62	14,70	8,1E-07	4,5E-07
Farelo (L)	2,58	-0,60	2,90	0,73	0,89	-0,83	0,400	0,429
Farelo (Q)	2,09	0,96	3,01	0,75	0,69	1,27	0,508	0,240
Umidade (L)**	3,60	1,68	2,90	0,73	1,24	2,31	0,250	0,050
Umidade (Q)	0,76	0,61	3,01	0,75	0,25	0,81	0,807	0,440
Temperatura (L)*	9,60	1,28	2,90	0,73	3,31	1,76	0,011	0,116
Temperatura (Q)**	3,75	1,67	3,01	0,75	1,25	2,22	0,248	0,057
Farelo (L) x Umidade (L)	-0,68	-0,14	3,79	0,95	-0,18	-0,15	0,862	0,885
Farelo (L) x Umidade (L)	3,60	1,07	3,79	0,95	0,95	1,13	0,370	0,293
Umidade (L) x Temperatura (L)*/**	7,95	2,06	3,79	0,95	2,10	2,17	0,069	0,061

*ISL: valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$); $R^2 = 72\%$.

**IAL: valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$); $R^2 = 72\%$.

Comparando-se o índice de absorção de água (IAA) e o índice de absorção de leite (IAL), notou-se uma tendência da afinidade do produto pelo meio aquoso. Isto pode ser interessante quando se pensa no “bowl-life” de cereais matinais, normalmente colocados em leite. Estes índices representam a quantidade de líquido (água ou leite) que o produto retém quando se aplica uma força externa, como é a força centrífuga. Valores

maiores de IAA e IAL indicam menores tempos de “bowl-life” e vice-versa (PUPPALA, 1998).

4.2.2.3 Índice de absorção de óleo (IAO)

Os resultados apresentados na Tabela 22 para o IAO são a média aritmética de 3 repetições. Estes valores foram utilizados nas análises estatísticas para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre esta resposta.

Foi observado, nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 22), que os produtos extrusados apresentaram valores de IAO entre 2,73 e 3,85 g óleo/g amostra seca, como valores mínimo e máximo, respectivamente, para os 18 ensaios.

Através dos resultados do planejamento, foi possível determinar os coeficientes de regressão apresentados na Tabela 27, que indicam que as variáveis que afetaram a resposta analisada foram: o teor de farelo de maracujá adicionado, a temperatura do processo e as interações do farelo com a temperatura e da umidade com a temperatura.

Tabela 27. Coeficientes de regressão para a resposta índice de absorção de óleo (IAO)*

	Coeficientes Regressão	Erro Padrão	t(13)	p-valor
Média	3,15	0,02	134,91	8,98E-07
Farelo (L)	-0,06	0,03	-2,41	0,095
Temperatura (L)	0,20	0,03	7,48	0,005
Farelo (L) x Temperatura (L)	-0,16	0,04	-4,49	0,021
Umidade (L) x Temperatura (L)	-0,08	0,04	-2,41	0,095

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$)

A Tabela 28 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, sendo o coeficiente de variação (R^2) igual a 0,70 e o valor de $F_{\text{calculado}}$ 3,15 vezes maior que o F_{tabelado} , a 10% de significância.

Tabela 28. Análise de variância para o índice de absorção de óleo (IAO)

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F _{calc}	P
Regressão	0,86	4	0,22	7,66	0,0021
Resíduo	0,37	13	0,03		
Total	1,23	17			

$R^2 = 70\%$; $F_{4;13;0,90} = 2,43$

Considerando-se os parâmetros significativos ($p < 0,10$), obteve-se o modelo para uso com as variáveis codificadas descrito na Equação 20.

$$IAO = 3,15 - 0,06 * F + 0,20 * T - 0,16 * F * T - 0,08 * U * T \quad \text{(Equação 20)}$$

onde:

F = Farelo de maracujá (%)

U = Umidade inicial da matéria-prima (%)

T = Temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C)

Foram calculados os desvios relativos para garantir a validade do modelo, apresentados no Apêndice 3. A partir do modelo obtido, foi possível gerar as superfícies de resposta para o IAO, apresentadas na Figura 13, permitindo visualizar as melhores condições para as variáveis independentes utilizadas neste projeto.

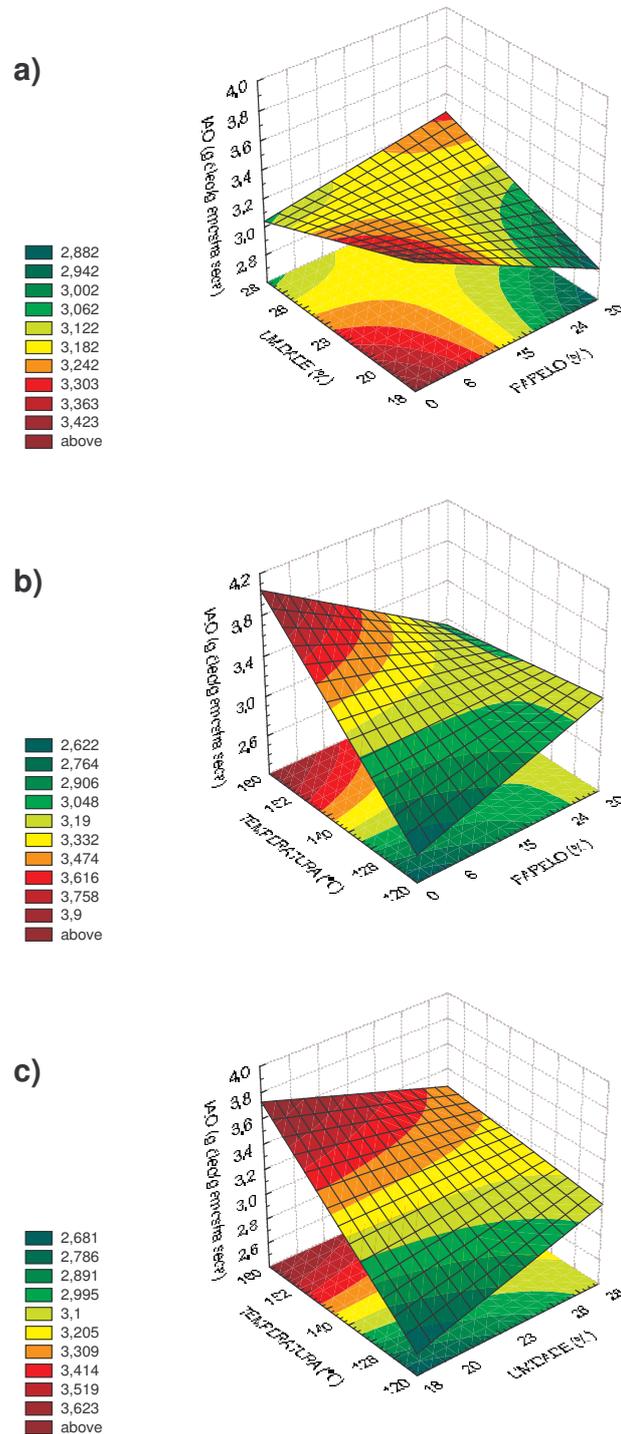


Figura 13. Superfícies de resposta para o índice de absorção de óleo (IAO) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.

Na Figura 13, observou-se que maiores valores para o IAO foram obtidos com baixo teor de farelo de maracujá, baixa umidade, e alta temperatura. As variáveis estudadas neste projeto ocasionaram diminuições nos valores de IAO dos extrusados, quando comparados com os valores obtidos para as matérias-primas. Larrea (1999) também observou uma queda do IAO de polpa de laranja após o processo de extrusão. Ele obteve valores na faixa de 2,75 a 3,11 g de óleo/g matéria seca para o IAO de polpa de laranja extrusada, enquanto que para a matéria-prima ele reportou um IAO de 3,79 g de óleo/g de matéria seca. Os valores reportados por Larrea (1999) são próximos aos encontrados neste projeto.

É possível que um maior conteúdo de amido gelatinizado (farinha) na formulação aumente o IAO. Da mesma forma que o IAA está relacionado com os grupos hidrofílicos dos produtos, o IAO está relacionado com os grupos hidrofóbicos e com a capacidade de manter em sua estrutura certa quantidade de óleo. Durante a extrusão, os grânulos de amido sofrem gelatinização e parte da fibra se solubiliza, portanto o balanço hidrofílico/hidrofóbico é alterado, modificando a absorção de óleo, como observado na Figura 13.

4.2.3 PROPRIEDADES NUTRICIONAIS

Os resultados obtidos a partir do planejamento experimental composto central rotacional 2^3 para verificar os efeitos do teor de fibras (%), umidade da matéria-prima (%) e temperatura da 2ª e 3ª zonas de extrusão (°C) sobre o índice glicêmico “in vitro” (IG), teor de compostos cianogênicos e aqueles obtidos a partir da Equação 13 para os valores teóricos de fibra alimentar em base seca, estão apresentados na Tabela 29.

Tabela 29. Índice glicêmico “in vitro” dos produtos extrusados, teor de compostos cianogênicos e teor de fibra alimentar teórico

E	X1	X2	X3	IG (%)	Compostos cianogênicos (mg/kg)	Fibra alimentar (% b.s.)
1	- 1	-1	-1	48,71	49,33	8,06
2	+ 1	-1	-1	47,93	187,27	19,95
3	- 1	+1	-1	48,47	63,69	8,06
4	+1	+1	-1	48,10	164,71	19,95
5	-1	-1	+1	48,96	53,63	8,06
6	+1	-1	+1	48,91	174,18	19,95
7	-1	+1	+1	49,74	80,99	8,06
8	+1	+1	+1	49,11	209,55	19,95
9	-α	0	0	48,90	0,00	4,07
10	+ α	0	0	48,85	254,09	23,89
11	0	- α	0	48,90	82,45	14,02
12	0	+ α	0	48,42	97,98	14,02
13	0	0	- α	48,83	135,01	14,02
14	0	0	+ α	48,89	110,78	14,02
15	0	0	0	48,43	144,19	14,02
16	0	0	0	48,59	117,62	14,02
17	0	0	0	48,19	117,62	14,02

E: ensaio; X1=teor de farelo de maracujá (%); X2=umidade da matéria-prima (%); X3=temperatura das 2ª e 3ª zonas do extrusor (°C); $\alpha = (2^k)^{1/4} = 1,68$.

4.2.3.1 Teor de fibra alimentar teórico

Observa-se que o teor de fibra alimentar teórico dos produtos extrusados variou de 4,07 a 23,89% (b.s.). Considerando que um produto extrusado tem em média 5% de umidade, esta faixa seria de 3,87 a 22,70% (b.u.) no produto a ser consumido. Desta forma, todos os produtos estudados poderiam ser considerados “fonte de fibra” (mínimo 3 g de fibra alimentar/100 g de produto) e, a partir da incorporação de 4% de farelo de maracujá, os produtos poderiam ser considerados “ricos em fibra” (mínimo 6 g de fibra alimentar/100 g de produto), segundo a Legislação Brasileira (ANVISA, 1998).

4.2.3.2 Índice glicêmico “in vitro”

Pode ser observado, na Tabela 29, que os produtos extrusados apresentaram valores de índice glicêmico (IG) entre 47,93 a 49,74%. Não foram encontradas referências na literatura que utilizassem planejamento experimental para avaliar os efeitos da extrusão termoplástica e da formulação sobre o IG de produtos extrusados. Porém, encontraram-se valores de IG para certos alimentos, como por exemplo, índices glicêmicos de 68, 88, 38 e 81% para macarrão, arroz cozido, lentilhas e batatas chips, respectivamente (GOÑI, GARCIA-ALONSO, SAURA-CALIXTO, 1997).

Analisando a Tabela 30, observa-se que o único efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) foi a temperatura do processo. Além disso, os erros padrão de todos os efeitos foram elevados. Por isso, o modelo matemático e as superfícies de resposta não foram considerados para esta resposta, já que, ao eliminar da análise estatística os efeitos não-significativos, o coeficiente de variação (R^2) apresentou um valor muito baixo (32%) e os resíduos foram altos.

Tabela 30. Análise dos efeitos para a resposta índice glicêmico (IG)

	Efeitos	Erro Padrão	t(8)	p-valor
Média	48,41	0,24	204,82	1,75E-14
Farelo (L)	-0,28	0,22	-1,26	0,25
Farelo (Q)	0,30	0,24	1,21	0,27
Umidade (L)	0,01	0,22	0,05	0,96
Umidade (Q)	0,15	0,24	0,59	0,57
Temperatura (L)*	0,53	0,22	2,38	0,05
Temperatura (Q)	0,29	0,24	1,17	0,28
Farelo (L) x Umidade (L)	-0,04	0,29	-0,15	0,89
Farelo (L) x Umidade (L)	0,12	0,29	0,40	0,70
Umidade (L) x Temperatura (L)	0,26	0,29	0,90	0,40

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$); $R^2 = 60\%$

Para auxiliar a análise estatística pela Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), foi realizada a Análise de Componentes Principais (ACP) para descobrir as dependências aproximadamente lineares entre as variáveis.

A Tabela 31 apresenta os resultados da Análise de Componentes Principais da resposta IG.

Tabela 31. Análise de Componentes Principais (ACP) do índice glicêmico (IG) das amostras extrusadas

Componentes Principais	Proporção (%)	Vetor
CP1	96,02	0,97991
CP2	3,98	-0,19944
CP1+CP2	100	

O primeiro componente principal (CP1) correspondeu a 96,02% da variação total, enquanto que o segundo componente principal (CP2) correspondeu 3,98% das observações iniciais. Portanto, CP1 e CP2 explicaram 100% da variação total das observações, o que mostra que os fatores estudados ou alguns deles (teor de farelo, umidade da matéria-prima e temperatura de processo) poderiam ter afetado o IG de forma isolada. Se houvesse um número maior de componentes principais (CPs), o efeito dos fatores seria menor.

Na Figura 14, encontra-se a representação gráfica da ACP, onde cada eixo explica a porcentagem da variabilidade total existente entre as amostras.

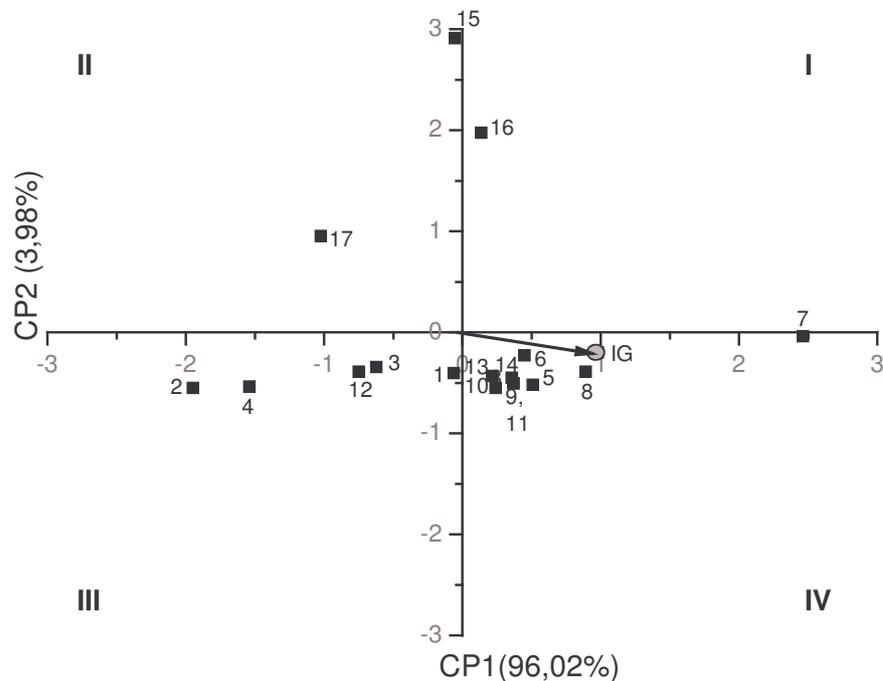


Figura 14. Representação gráfica da Análise de Componentes Principais (ACP) do índice glicêmico (IG) das amostras extrusadas

Na Figura 14, as amostras próximas entre si são semelhantes, enquanto que as amostras distantes umas das outras apresentam diferenças. Com isso, a ACP confirma a grande variação entre os pontos centrais (Ensaio 15, 16 e 17), justificando o fato de não ter sido obtido o modelo matemático pela MSR. Portanto, a ACP poderá ser utilizada para pontos isolados do delineamento.

Observa-se, na Figura 14, que os Ensaios 15, 16 e 17, com tendência a menores valores de IG, afetaram na diminuição deste índice, pois o aproximaram ao CP1.

Apesar de que a maioria das amostras se encontra bem próxima no quadrante IV, observou-se uma tendência de aumento no valor do IG. Observa-se que o vetor para o IG encontra-se no quadrante IV. Nesse quadrante, onde se encontra o vetor do IG, se localizam as amostras com temperaturas de processo mais altas, sendo os ensaios com maior índice glicêmico os Ensaios 7, 8, 5 e 6, nesta ordem, processados com temperaturas de 152°C. Quando analisadas as amostras no quadrante III, Ensaios 1, 2, 3, 4 e 12, consideradas as amostras com menor IG, observou-se que foram processadas

com temperaturas menos severas (excetuando o Ensaio 12). Estes valores concordam com o encontrado na análise estatística do planejamento experimental, onde somente o parâmetro da temperatura linear teve efeito significativo sobre a resposta IG.

O fato da temperatura ter influência sobre o IG atribui-se a que altas temperaturas dextrinizam mais o amido, aumentando sua susceptibilidade à enzima α -amilase. Este fato é atribuído à solubilização do amido e à sua dispersão rápida no meio digestivo. Um dos fatores mais importantes que afeta a susceptibilidade do amido extrusado à hidrólise enzimática e absorção intestinal é o grau de gelatinização do amido, devido às mudanças das propriedades físico-químicas dos produtos extrusados, como por exemplo, a desintegração da estrutura granular do amido devido aos parâmetros extremos de processo, viscosidade e solubilidade do amido gelatinizado (MERCIER, LINKO e HARPER, 1998).

Quando grânulos de amido em água são expostos a um meio de aquecimento, as ligações de hidrogênio inter e intra-moleculares das cadeias do polímero são rompidas, favorecendo o intumescimento dos grânulos e a sua desintegração, disponibilizando o substrato para a ação da enzima na hidrólise do amido com o aumento da gelatinização (CHUNH, LIM e LIM, 2006). Normalmente, a gelatinização completa do amido à pressão atmosférica requer pelo menos 30 a 40% de umidade, mas sob os parâmetros do processo de extrusão termoplástica, é alcançada com teores de umidades baixos, quando utilizadas temperaturas superiores a 110°C. A combinação do tratamento térmico, altas pressões e cisalhamento mecânico explicam a perda da estrutura granular do amido. O aumento da solubilidade em água é um fator que favorece a alta disponibilidade do amido para a ação da enzima α -amilase e a absorção intestinal (GARCÍA-ALONSO, GOÑI e SAURA-CALIXTO, 1998; MERCIER, LINKO e HARPER, 1998).

Quando comparados os valores de IG obtidos no planejamento experimental (Tabela 30) com os valores de IG das matérias-primas (48,03 e 45,00%, para a farinha de milho e o farelo de maracujá, respectivamente), observou-se certa similaridade entre as respostas, não havendo um aumento significativo após a extrusão.

O amido que é degradado à glicose por enzimas no trato digestivo, classificado como amido rapidamente digerido, apresenta um alto índice glicêmico (IG>95), sendo considerado fonte de energia imediata e por pouco tempo, provocando um rápido aumento da glicose no sangue, enquanto produtos com amido lentamente digerível são considerados de baixo índice glicêmico (IG<75) (ENGLYS e HUDSON, 1996).

Os valores de IG apresentados na Tabela 30 são interessantes do ponto de vista nutricional para cereal matinal extrusado. Era esperado obter níveis de IG maiores para os produtos extrusados, devido à utilização de altas temperaturas, e conseqüentemente, maior grau de gelatinização do amido favorável para a ação enzimática.

Neste estudo, os valores relativamente baixos de IG, quando comparados com o pão branco, podem ser atribuídos a dois fenômenos. Primeiro, aos efeitos fisiológicos da fibra alimentar encontrada no farelo de maracujá, estreitamente relacionados às propriedades físico-químicas do farelo. Uma das hipóteses da ação da fibra no retardamento da difusão da glicose deve-se ao fato de que a fibra solúvel pode influenciar na taxa de hidrólise do amido, atuando como se fosse uma barreira, impedindo o contato da enzima com o amido (GOURGUE et al., 1994; CHUNH, LIM e LIM, 2006).

Por outro lado, os valores baixos de IG podem também estar relacionados ao fato de que as amostras se mantiveram sob congelamento após sua moagem até o momento da análise, aumentando a taxa de retrogradação do amido. Durante o fenômeno de retrogradação, o amido gelatinizado é transformado de um estado amorfo em um estado mais ordenado e cristalino. A retrogradação do amido ocorre facilmente durante a estocagem de produtos amiláceos tratados termicamente. Embora normalmente seja indesejável, por proporcionar mudanças na textura de produtos, como em pães, bolos ou arroz, tem sido reportado que a retrogradação resulta na diminuição dos valores de índice glicêmico, devido a que os produtos se tornam mais resistentes à ação enzimática (HU et al., 2004; CHUNH, LIM e LIM, 2006).

Outros estudos também reportaram redução no índice glicêmico quando adicionado amido resistente à formulação de pão branco. O amido resistente atua como fibra, já que resiste à digestão enzimática e não é absorvido no intestino, mas pode atuar como substrato para ser fermentado pelas bactérias do colón. Os pesquisadores concluíram que a adição de 5%, 10% e 20% de amido resistente reduziu o IG de 100% (pão branco de referência) a 96%, 74% e 53%, respectivamente (BROWN, MCNAUGHT e MOLONEY, 1995).

4.2.3.3 Compostos cianogênicos

Observou-se, nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 29), que os produtos extrusados apresentaram teores de compostos cianogênicos totais entre 0 e 254,1 mg/kg para os 17 ensaios. Os valores apresentados foram utilizados nas

análises estatísticas para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre o teor de compostos cianogênicos totais.

Através dos resultados obtidos, foi possível determinar os coeficientes de regressão. Na Tabela 32, se destacam os parâmetros que tiveram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,05$) para a resposta teor de compostos cianogênicos totais. Nota-se que o teor de compostos cianogênicos totais foi influenciado pelo teor de farelo de maracujá e pela umidade, enquanto a temperatura não teve efeito significativo sobre esta resposta.

Tabela 32. Coeficientes de regressão para a resposta teor de compostos cianogênicos totais*

	Coeficientes Regressão	Erro Padrão	t(14)	p-valor
Média	129,28	5,37	24,09	8,52E-13
Farelo (L)	67,03	4,41	15,19	4,30E-10
Umidade (Q)	-11,33	4,52	-2,51	2,51E-02

*Valores estatisticamente significativos a 95% de significância ($p < 0,05$)

A Tabela 33 apresenta a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para o teor de compostos cianogênicos totais, sendo o coeficiente de variação (R^2) igual a 0,94 e o valor de $F_{\text{calculado}}$ 43,43 vezes maior que o F_{tabelado} , a 5% de significância. Com estes valores, o modelo pode ser considerado estatisticamente significativo.

Tabela 33. Análise de variância para o teor de compostos cianogênicos

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	Fcalc	p
Regressão	63029,21	2	31514,61	118,55	1,67E-09
Resíduo	3721,61	14	265,83		
Total	66750,83	16			

$R^2 = 94,4\%$; $F_{2;15;0,90} = 43,43$

Em vista dos resultados obtidos na análise de variância, foi obtido o modelo codificado representado na Equação 21, que mostra a possibilidade do teor de compostos cianogênicos totais ser estimado em função do teor de farelo de maracujá e da umidade,

desde que estas variáveis sejam analisadas dentro das faixas de variação utilizadas neste estudo.

$$CCT = 129,28 + 67,03 * F - 11,33 * U^2 \quad \text{(Equação 21)}$$

onde:

CCT = Compostos cianogênicos totais (mg/kg)

F = Farelo de maracujá (%)

U = Umidade inicial da matéria-prima (%)

A tabela de desvios relativos calculados para garantir a validade do modelo encontra-se no Apêndice 4. A partir do modelo obtido, foi possível construir as superfícies de resposta para o teor de compostos cianogênicos totais nos produtos extrusados, apresentadas na Figura 15.

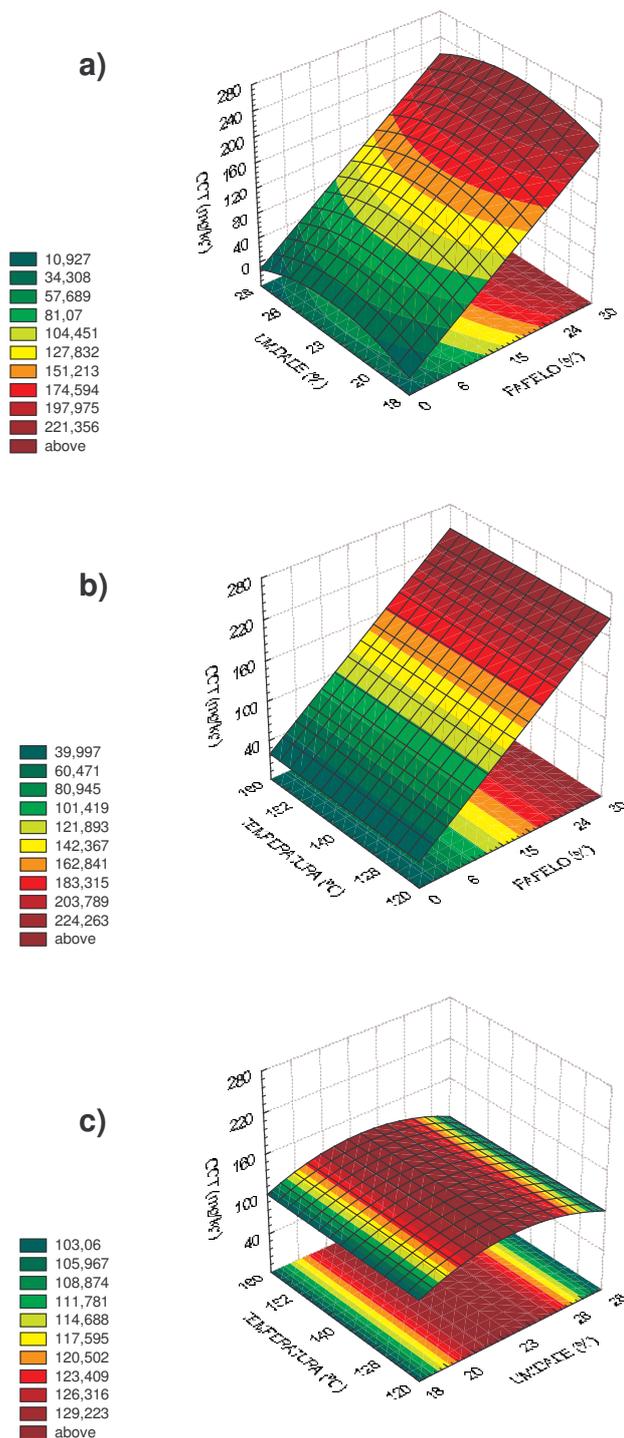


Figura 15. Superfícies de resposta para o teor de compostos cianogênicos totais (CCT) como função a) do teor de farelo de maracujá e da umidade da matéria-prima, b) do teor de farelo de maracujá e da temperatura do processo e c) da umidade da matéria-prima e da temperatura do processo.

Pela Equação 21 e pela Figura 15, que apresenta as superfícies de resposta para os compostos cianogênicos, observou-se claramente que neste estudo a temperatura não teve efeito significativo sobre esta resposta.

Além disso, observou-se que o aumento dos níveis de farelo de maracujá elevou significativamente o teor de compostos cianogênicos dos produtos extrusados. Ao contrário do efeito da adição de farelo de maracujá, quando foram utilizados teores de umidade extremos, tanto altos, como baixos, o teor de compostos cianogênicos diminuiu. Ao utilizar maiores teores de umidade é possível que ocorra uma maior hidrólise da molécula dos glicosídeos cianogênicos, facilitando a liberação do HCN no momento da evaporação na saída do extrusor. Por outro lado, quando utilizadas baixas umidades, possivelmente existe um rompimento da molécula de glicosídeo cianogênico devido ao alto cisalhamento e altas pressões dentro do extrusor, liberando, de igual forma, o HCN das amostras extrusadas.

4.2.4 PONTO ÓTIMO

A escolha do ponto ótimo foi baseada primeiramente no teor de fibras, já que o objetivo deste estudo foi desenvolver um cereal matinal extrusado com alto teor de fibras. A Legislação Brasileira descreve dois termos para a rotulagem referente ao teor de fibras: “fonte de fibras” ou “alto teor de fibras”. O primeiro equivale a um valor mínimo de 3 g de fibras por cada 100 g de produto sólido, enquanto que o segundo equivale a um valor mínimo de 6 g de fibras por cada 100 g de produto sólido (ANVISA, 1998). Outros fatores importantes na escolha deste ponto foram: o índice de expansão e a dureza.

Geralmente, uma expansão máxima é desejada para “snacks” extrusados expandidos. Entretanto, para cereais matinais extrusados expandidos, a estrutura desejada é um pouco diferente. Visa-se obter um produto com uma densidade aparente maior (expansão menor), estrutura de poros menores com paredes mais grossas, já que o produto será submetido à imersão em um meio aquoso, como por exemplo, o leite, e deverá manter o maior tempo possível a sua textura, absorvendo a menor quantidade possível de umidade (MERCIER, LINKO E HARPER, 1998). Neste trabalho, levou-se em conta tanto a aparência (em geral, produtos mais expandidos são mais atraentes), quanto a porosidade (não se escolheu o produto com índice de expansão máximo, para não prejudicar tanto o “bowl-life”). Além disso, como o produto pode vir a ser consumido seco, a dureza não poderia ser muito elevada.

Após a análise destes parâmetros, foi escolhida uma formulação com: 12% de farelo de maracujá, para garantir a quantidade de fibra alimentar que permita a alegação “alto teor de fibras”, segundo a Legislação Brasileira; uma expansão média, para otimizar a estabilidade em leite e uma textura adequada quando consumido seco ou úmido. Foi processada uma amostra (PO – Ponto Ótimo) com 12% de farelo de maracujá, 20% de umidade da matéria-prima e 135°C nas 2^a e 3^a zonas do extrusor. A visualização do PO apresenta-se na Figura 16.

Na amostra extrusada PO foram realizadas as análises de composição centesimal e de propriedades físicas (índice de expansão, dureza, textura após 5 minutos de imersão em leite e cor), servindo como caracterização do produto e/ou como validação dos modelos matemáticos obtidos para estas análises.



Figura 16. Produto extrusado com 12% de farelo de maracujá, 20% de umidade da matéria-prima e 135°C nas 2^a e 3^a zonas do extrusor (ponto ótimo)

4.2.4.1 Composição centesimal do produto extrusado no ponto ótimo (PO)

A composição centesimal do produto extrusado no ponto ótimo (PO) está apresentada na Tabela 34. Os resultados da composição centesimal do PO apontam que o mesmo apresenta um elevado teor de carboidratos, predominantemente amido, e teor significativo de fibra alimentar.

Tabela 34. Composição centesimal do produto extrusado no ponto ótimo (PO)*

Componente	%
Umidade	3,74 ± 0,02
Gordura	0,54 ± 0,02
Proteína	8,91 ± 0,10
Cinzas	1,45 ± 0,02
Carboidratos***	85,37
Fibra alimentar total **	11,37 ± 0,08
Insolúvel	8,99 ± 0,11
Solúvel	2,44 ± 0,03

*Média de 3 replicatas

**Média de 2 replicatas

***Calculado por diferença, inclui a fração de fibra alimentar

A Tabela 34 garante que o uso de 12% de farelo de maracujá na formulação inicial dos extrusados supre o mínimo estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (1998) para que o produto possa ser considerado como alto teor de fibras (6 g de fibra alimentar por cada 100 g de produto), já que o produto apresenta aproximadamente 11% de fibra alimentar total na sua composição centesimal.

O teor de farelo de maracujá poderia ser reduzido até aproximadamente 4% da formulação inicial para garantir as 6 g de fibra alimentar em cada 100 g de produto. Porém, considerando que uma porção de cereal matinal equivale a 30 g de produto (ANVISA, 2003), o seu consumo garantiria a ingestão de apenas 1,8 g de fibra alimentar (7,2% da recomendação diária de 25 g). Para uma maior contribuição com o aumento do consumo de fibra alimentar, neste projeto, decidiu-se colocar mais fibra (12% de farelo de maracujá = 11,37% de fibra alimentar no produto final), para que em cada 30 g de cereal matinal sejam consumidos aproximadamente 3,4 g de fibra alimentar (13,6% da recomendação diária de 25 g).

Bucher (1998) estudou as características físico-químicas de diferentes cereais matinais comerciais à base de milho, e na composição centesimal ele encontrou que quase todas as amostras, em média, apresentaram 4% de proteína, 0,12%, gordura, 2,5% de cinzas e 0,90% de fibras. Ao comparar estes resultados com os obtidos neste estudo, observou-se que o teor de proteína neste projeto foi maior ao encontrado nas marcas comerciais, pois o produto apresentou 8,91% de proteína. Já o teor de cinzas nos cereais matinais comerciais é quase o dobro do deste estudo, pois, geralmente, são enriquecidos com vitaminas e minerais (FAST e CADWELL, 2000). Quando comparado o conteúdo de

fibras do produto extrusado deste estudo com os comerciais observa-se claramente que os produtos comerciais apresentaram quantidades muito menores de fibra alimentar.

4.2.4.2 Propriedades físicas do produto extrusado no ponto ótimo (PO)

A Tabela 35 apresenta os valores reais e codificados das três variáveis independentes (% de farelo de maracujá, % de umidade inicial da matéria-prima e temperatura do processo) utilizados na obtenção do produto extrusado no ponto ótimo, enquanto que a Tabela 36 apresenta os resultados obtidos experimentalmente para o índice de expansão (IE), dureza e cor do PO, assim como os valores preditos segundo os modelos matemáticos obtidos para cada resposta nos itens 4.2.1.1, 4.2.1.2 e 4.2.1.4. A Figura 17 apresenta a perda de dureza após a imersão do produto em leite.

Tabela 35. Valores codificados e reais das condições do ponto ótimo (PO)

Farelo de maracujá		Umidade inicial		Temperatura	
Valor codificado	Valor real (%)	Valor codificado	Valor real (%)	Valor Codificado	Valor real (°C)
-0,33	12	-1	20	-0,42	135

Tabela 36. Valores experimentais e preditos para o índice de expansão (IE), dureza e cor do produto extrusado no ponto ótimo (PO)

	IE	Dureza (N)	Cor				
			L*	a*	b*	C*	h _{ab} *
Valor Experimental	4,1 ± 0,24	12,92 ± 2,57	55,93	5,05	30,22	30,64	80,51
Valor Predito*	3,63	14,3	53,19	-	-	-	75,98

*Valor predito utilizando-se os modelos matemáticos codificados obtidos para cada resposta.
L*: luminosidade; C*: croma; h_{ab}: ângulo de tonalidade.

Ao comparar o IE obtido experimentalmente para o ponto ótimo com o valor predito segundo a Equação 14, obteve-se um valor maior ao esperado numa proporção de 14% acima do predito. Devido à maior expansão obtida, a dureza experimental apresentou uma queda no seu valor quando comparado com o valor predito obtido pela Equação 15. Esta queda foi de aproximadamente 10% abaixo do valor predito. Isso se deve à relação inversamente proporcional entre a dureza e o índice de expansão, ou seja, para maior índice de expansão, menor dureza. Devido à complexidade do processo de extrusão e à variabilidade destas análises, os desvios obtidos entre os valores experimentais e os preditos podem ser considerados baixos.

Com relação à cor, os valores obtidos experimentalmente para a luminosidade (L^*) e o ângulo de tonalidade (h_{ab}) do PO foram similares aos valores preditos pelas Equações 17 e 18, respectivamente. O valor encontrado experimentalmente para a resposta luminosidade está 5,3% acima do valor predito. Enquanto que o valor encontrado experimentalmente para o ângulo h_{ab} está 6% acima do valor obtido pela equação.

A Figura 17 apresenta a cinética da perda de dureza em leite do produto extrusado no ponto ótimo (PO). Esta perda está relacionada à capacidade de absorção de água do produto extrusado quando imerso em leite frio (10°C) e desnatado. Observa-se, na Figura 17, que o produto absorveu rapidamente umidade do meio, mudando a sua dureza para valores significativamente menores após 5 minutos de imersão em leite.

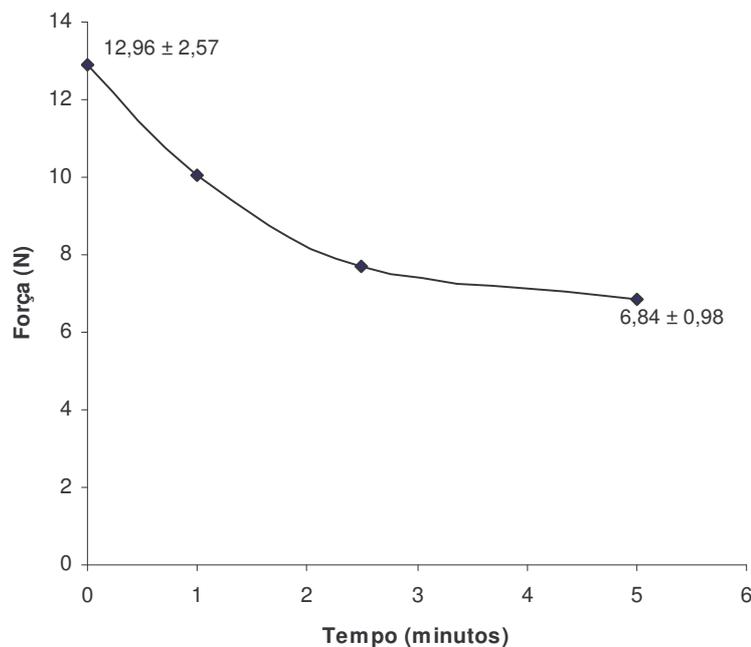


Figura 17. Cinética de perda da dureza do produto extrusado no ponto ótimo (PO) após a imersão em leite

Quando comparado o valor experimental da dureza após 5 minutos dos extrusados do ponto ótimo (6,84 N) com a dureza após 5 minutos obtida pela Equação 16 (12,60 N), observa-se uma diferença grande no valor experimental. Este fato pode ser devido ao PO analisado ter tido uma expansão maior que a predita, favorecendo a absorção e amolecimento do produto.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

- Foi possível desenvolver uma base para cereal matinal extrusado com alto teor de fibras (11,37%) e parâmetros físicos aceitáveis utilizando 12% de farelo de maracujá, 20% de umidade inicial e 135 °C nas 2ª e 3ª zonas do extrusor.
- O farelo de maracujá utilizado apresentou alto conteúdo de fibra alimentar (64,11%), sendo o 50,16% fibra insolúvel e 13,96% fibra solúvel.
- Os produtos extrusados com maior índice de expansão (IE) foram obtidos com os menores valores de umidade, temperatura e teor de farelo de maracujá.
- Os produtos extrusados com menor dureza foram obtidos com os menores valores de umidade e teor de farelo de maracujá. Quanto ao efeito da temperatura, em produtos extrusados com baixos teores de farelo ou alta umidade, o seu aumento elevou a dureza; e naqueles com altos teores de farelo ou baixa umidade, o seu aumento diminuiu a dureza.
- A presença de farelo de maracujá (fibra) e a umidade da matéria-prima afetaram significativamente a textura dos extrusados quando imersos em leite, tendo efeitos inversos (de uma forma geral, o aumento do farelo reduziu a dureza após 5 minutos de imersão em leite e o aumento da umidade a aumentou). Entretanto, o efeito mais importante foi a temperatura de processo (quanto maior a temperatura, menor a dureza após 5 minutos de imersão em leite).
- A luminosidade (L^*) dos extrusados foi influenciada somente pelo teor de farelo de maracujá e pela temperatura de processo, sendo que a umidade não teve efeito significativo sobre esta resposta. Altos níveis de farelo de maracujá produziram extrusados mais escuros (com menores valores de L^*). Por outro lado, com o aumento da temperatura de processo foram obtidos extrusados mais claros.
- Os maiores valores de ISA foram encontrados com os maiores teores de farelo de maracujá nos produtos extrusados e os menores valores foram obtidos quando os produtos foram processados a menores temperaturas e maiores umidades, ou seja, em condições menos drásticas.
- Os maiores valores de IAO foram obtidos com baixos teores de farelo de maracujá, baixa umidade e alta temperatura. Quando comparados os valores obtidos para as

matérias-primas, concluiu-se que, possivelmente, um maior conteúdo de amido gelatinizado (farinha) na formulação aumente o IAO.

- Para as respostas IAA, ISL, IAL e IG não foram obtidos modelos matemáticos nem superfícies de respostas, concluindo-se que, dentro da faixa avaliada, as variáveis estudadas não tiveram efeito significativo sobre estas respostas.
- Pela Análise de Componentes (ACP) concluiu-se que a temperatura de processo foi a variável com maior influência sobre o índice glicêmico (IG).
- Quando comparados os valores de IG dos produtos extrusados com os valores de IG das matérias-primas, observou-se certa similaridade entre as respostas, não havendo um aumento significativo deste índice após a extrusão.
- Os produtos extrusados com a adição de farelo de maracujá contiveram compostos cianogênicos totais, cuja quantidade foi maior com o aumento do teor de farelo adicionado. Os menores teores desses compostos foram obtidos em processos com extremos de umidade inicial (muito baixos ou muito altos) da matéria-prima.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O foco deste trabalho foi o estudo de propriedades tecnológicas de extrusados enriquecidos com farelo de maracujá, passo importante no desenvolvimento de uma base para cereal matinal orgânico. Avaliaram-se efeitos de processo e do teor de farelo. Entretanto, para um completo desenvolvimento do produto, é necessário ainda um aprofundamento, relacionado principalmente à existência de possíveis compostos tóxicos e antinutricionais e à análise sensorial.

As sugestões abaixo são idéias que surgiram no decorrer do trabalho e na análise dos resultados.

- Tratar o farelo de maracujá para a eliminação/redução dos compostos cianogênicos;
- Determinar o teor de outros fatores antinutricionais no farelo de maracujá e nos produtos extrusados;
- Fazer a análise microbiológica das matérias-primas e dos produtos extrusados;
- Fazer a análise sensorial dos produtos extrusados;
- Verificar as propriedades fisiológicas dos produtos extrusados;
- Fazer uma cobertura nos extrusados e estudar o efeito sobre a manutenção da textura no leite;
- Utilizar outro tipo de análise para determinar a textura dos extrusados;
- Verificar o efeito da redistribuição das fibras (fibra insolúvel para fibra solúvel) no processo de extrusão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.A.C.C - American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists.** 9^a ed. St. Paul: Approved Methods Committee, 1995. v. 1 e 2.

AC NIELSEN. Tendências 2004. Salgadinhos para Aperitivos/Snacks. Disponível em: <http://www.acnielsen.com.br> Acessado em: 10 jun. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. Portaria n° 27, de 13 de janeiro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jan. 1998. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/search.php>>. Acesso em: 05 maio 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Aprova o Regulamento Técnico de Porções de Alimentos Embalados para Fins de Rotulagem Nutricional. Resolução RDC n° 359, de 23 de dezembro de 2003. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 dez. 2003. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>>. Acesso em: 21 nov 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Aprova o Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados. Resolução RDC n° 360, de 23 de dezembro de 2003. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 dez. 2003. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/search.php>>. Acesso em: 7 nov. 2006.

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

ALVIM, I.D.; SGARBIERI, V.C.; CHANG, Y. K. Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.2, p.170-176, 2002.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F. & GRIFFIN JR., E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v.14, n.1, p.4-7 e 11-12, 1969.

ANDERSON, J. W.; SMITH, B. M.; GUSTAFSON, N. J. Health benefits and practical aspects of high-fiber diets. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v.59, n.5, p.1242s, 1994.

ANDRE, B.S.; RODRIGUEZ, N.T.; MORAES-FILHO, P.J. Constipação intestinal. **Revista Brasileira de Medicina**, São Paulo, v.57, p.53-63, dez., 2000.

ANON. Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. **Journal of the American Dietetic Association**, v.97, p.1157-1159, 1997.

A.O.A.C - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 16^a ed. Arlington: AOAC International, 1995. v.1.

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

ARTZ, W.E.; WARREN, C. & VILLOTA, R. Twin-screw extrusion modification of a corn fiber and corn starch extruded blend. **Journal of Food Science**, London, v.55, n.3, p.746-754, 1990.

ASAMI, D.K.; HONG, Y.J.; BARRETT, D.M.; MITCHELL, A.E. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p.1237-1241, 2003.

BAILEY, L.N.; HUACK, B.W.; SEVATSON, E.S.; SINGER, R.E. Systems for manufacture of ready-to-eat breakfast cereals using twin-screw extrusion. **Cereal Foods World**, v.36, n.10, p.863-869, 1991.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I.S. & BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** 2ª ed. Campinas: Editora Unicamp, 2003. 401p.

BARTON, B.A.; ELDRIGE, A.L.; THOMPSON, D.; AFFENITO, S.G.; STRIEGEL-MOORE, R.H.; FRANKO, D.L.; ALBERSTON, A.M.; CROCKETT, S.J. The relationship of breakfast and cereal consumption to nutrient intake and body mass index: the national heart, lung, and blood institute growth and health study. **Journal of the American Dietetic Association**, v.105, n.9, p.1383-1389, 2005.

BAUDI, S. **Química de Alimentos.** 3ª ed. México: Longman de México Editores, 1999. 648p.

BORNET, F. Technological treatments of cereals. Repercussions on the physiological properties of starch. **Carbohydrates Polymers**, v.21, p.195-203, 1993.

BRABENDER. **Laboratory food extruders.** Duisburg: Brabender OHG, 1995. 8 p.

BRADBURY, J.H.; EGAN, S.V.; LYNCH, M.J. Analysis of cyanide in cassava using acid hydrolysis of cyanogenic glucosides. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.55, p.277-290, 1991.

BUCHER, S.K. Chemical and physicochemical characterization of commercial breakfast cereals. **Cereal Foods World**, v.43, n.8, p.644-645, 1998.

CALDWELL, E.F.; FAST, R.B.; IEVOLELLA, J.; LAUFHOFF, C.; LEVINE, H.; MILLER, R.C.; SLADE, L. STRAHM, B.S.; WHALEN, P.J. Cooking of ready-to-eat breakfast cereals. **Cereal Foods World**, v.45, n.2, p.245-252, 2000.

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

CAMIRE, M.E.; KING, C.C. Protein and fiber supplementation: effects on extrudate cornmeal snack quality. **Journal of Food Science**, v.56, n.3, p.760-763, 1991.

CHANG, Y.K.; HASHIMOTO, J.M.; MOURA-ALCIOLI, R.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. Twin-screw extrusion of cassava starch and isolated soybean protein blends. **Nahrung/Food**, v. 45, n. 4, p. 234-240, 2001.

CHANG, Y.K.; HASHIMOTO, J.M.; ALCIOLI-MOURA, R.; MARTÍNEZ-FLORES, H.E.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. Influence of extrusion conditions on cassava starch and soybean protein concentrate blend. **Acta Alimentaria**, v.30, n.2, p.189-203, 2001.

CHANG, Y.K.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; MARTÍNEZ-FLORES, H.E. Effect of operational extruder parameters on the production of crispbread. Analysis using response surface methodology. **Research Advances in Food Science**, v.2, p.63-71, 2001.

CHANG, Y.K.; MARTÍNEZ-FLORES, H.E.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; SGARBIERI, V. C. Effect of extruded products made with cassava starch blended with oat fiber and resistant starch on the hypocholesterolemic properties as evaluated in hamsters. **Nutraceuticals and Food**, v.7, p.133-138, 2002.

CHASSAGNE, D.; CROUZET, J.C.; BAYONOVE, C.L.; BAUMES, R.L. Identification and quantification of passion fruit cyanogenic glycosides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.12, p.3817-3820, 1996.

CHAU, C.F.; HUANG, Y.L. Characterization of passion fruit seed fibres: a potential fibre source. **Food Chemistry**, London, v.85, p.189-194, 2004.

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

CHINNASWAMY, R. Basis of cereal starch expansion. **Carbohydrate Polymers**, v.21, p.157-167, 1993.

CHINNICI, G.; D'AMICO, M.; PECORINO, B. A multivariate statistical analysis on the consumers of organic products. **British Food Journal**, v.104, n.3, p.187-199, 2002.

CHO, S.S.; CLARK, C.; URIBE-SAUCEDO, S. Gastrointestinal and other physiological effects of wheat bran. **Cereal Foods World**, v.49, n.3, p.140-144, 2004.

CHUNH, H.J.; LIM, H.S. LIM, S.T. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. **Journal of Cereal Science**, v.43, p.353-359, 2006.

CICIA, G.; DEL GIUDICE, T. Consumers perception of quality in organic food. **British Food Journal**, v.104, n.3, p.200-213, 2002.

CLARK, C.A. Breakfast nutrition. **Cereal Foods World**, v.25, n.4, p.148-149, 1980.

DANDY, D.A.V.; DOBRASZCZYK, B.J. **Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology**. Maryland: Aspen Publishers, Inc., 2001. 428p.

DAROLT, M. **O papel do consumidor no mercado de produtos orgânicos**. Disponível em:< <http://www.ibd.com.br/artigos/papelconsumidor.htm>>. Acesso em: 9 maio 2005.

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

DING, Q.; AINSWORTH, P.; PLUNKETT, A.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v.73, n.2, p.142-148, 2006.

EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: Pomeranz, Y. e Munich, L. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. American Association of Cereal Chemists. Saint Paul: 1981, cap. 10, p.165-216.

EL-DASH, A.A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. **Journal of Food Engineering**, v.2, p. 129-152, 1983.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Mandioca e Fruticultura Tropical. Disponível em: <<http://www.cnpmf.embrapa.br/maracuja.htm>>. Acesso em: 3 maio 2005.

ENGLYST, H.M; HUDSON, G.J. The classification and measurement of dietary carbohydrates. **Food Chemistry**, v. 57, p. 15-21, 1996.

FAGAN, C.C; O'DONNELL, C.P; CULLEN, P.J; BRENNAN, C.S. The effect of dietary fibre inclusion on milk coagulation kinetics. **Journal of Food Engineering**, v.77, p.261-268, 2006.

FAST, R.B. Breakfast cereals: processed grains for human consumption. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 32, p. 241, 1987.

FAST, R.B. e CALDWELL, E.F. **Breakfast cereals and how they are made**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2000. 562p.

FELLOWS, P.J. **Food processing technology: principles and practice**. 2^a ed., Cambridge: Midway Technology Limited, 2000. 608p.

FEMENIA, A.; LEFEBVRE, A. C.; THEBAUDIN, J. Y.; ROBERTSON, J. A.; BOURGEOIS, C. M. Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. **Journal of Food Science**, v.62, n.4, p.635-639, 1997. An Hypothesis Paper.

FENSKE, W. Organic snack foods go mainstream. **Cereal Foods World**, v.49, n.3, p.130-132, 2004.

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

FORNAL, L.; SORAL-SMIETANA, M.; SZPENELOWSKI, J. Chemical characteristics and physical-chemical properties of the extruded mixtures of cereal starches. **Starch/Stärke**, v.39, n.75, 1987.

GARCIA-ALONSO, A.; GOÑI, I.; SAURA-CALIXTO, F. Resistant starch and potential glyceamic index of raw and cooked legumes (lentils, chickpeas and beans). **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.206, p.284-287, 1998.

GLICKSMAN, M. **Food Hydrocolloids**. 1^a ed. Boca Ratón: CRCPRESS, volume III, 247p.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glyceamic index. **Nutrition Research**, v.17, n.3, p.427-437, 1997.

GORINSTEIN, S.; ZACHWIEJA, Z.; FOLTA, M.; BARTON, H.; PIOTROWICZ, J.; ZEMSER, M.; WEISZ, M.; TRAKHTENBERG, S.; MARTIN-BELLOSO, O. Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v.49, p.952-957, 2001.

GOURGE, C.; CHAMP, M.; GUILLON, F.; DELORT-LAVAL, J. Effect of extrusion-cooking on the hipoglycaemic properties of citrus fibre: an *in vitro* study. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.64, p.493-499, 1994.

GRIDER, J. State of the industry report: breakfast cereals in the U.S. **Cereal Foods World**, v.41, n.6, p.484-487, 1996.

GRIGELMO-MIGUEL, N.; MARTÍN-BELLOSO, O. Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens from cereals. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v.9, n.2, p.503-508, 1999.

GRIGELMO-MIGUEL, N.; MARTÍN-BELLOSO, O. Characterization of dietary fiber from orange juice extration. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v.31, n.5, p.355-361, 1999.

GUILLON, F.; BARRY, J.L.; THIBAUT, J.F. Effect of autoclaving sugar-beet fibre on its physico-chemical properties and its *in vitro* degradation by human faecal bacteria. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.60, p.69-79, 1992.

HAMERSCHMIDT, I. **Agricultura orgânica e segurança alimentar**. Disponível em:<<http://www.ibd.com.br/artigos/segurancaalimentar.htm>>. Acesso em: 12 maio 2005.

HORTIFRUTIGRANJEIROS. Curiosidades. Disponível em:
<<http://www.hortalimpa.com.br/curiosidades/maracuja.htm>>. Acesso em: 03 maio 2005.

HSIEH, F.; MULVANEG, S.S; HUFF, H.E.; LUE, S. BRENT, J. Effect of dietary fiber and screw speed on some extrusion processing and products variables. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.22, p.204-207, 1989.

HU, P.; ZHAO, H. DUAN, Z. LINLIN, Z. WU, D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. **Journal of Cereal Science**, v.40, p.231-237, 2004.

HUANG, W.N. Comparing cornflake manufacturing processes. **Cereal Foods World**, v.43, n.8. p.641-643, 1998.

Instituto Biodinâmico (IBD). Instrução Normativa nº 007, de 17 de maio de 1999. **Legislação**. Disponível em:<<http://www.ibd.com.br/legislacao/007.htm>>. Acesso em: 3 maio 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática, SIDRA**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 maio 2005.

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

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

Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Maracujá: da cultura ao processamento e comercialização**. São Paulo, ITAL, 1980, 207p. Séries Frutas Tropicais 9.

JONES, J.M. The benefits of eating breakfast cereals. **Cereal Foods World**, v.46, n.10, p.461-467, 2001.

KADAN, R.S.; PEPPERMAN, A.B. Physicochemical properties of starch in extruded rice flours. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.79, n.4, p.476-480, 2002.

KATZ, E.E.; LABUZA, T.P. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. **Journal of Food Science**, v.46, p.403-409, 1981.

LAJOLO, F. Alimentos funcionales en América Latina. **Alimentación Latinoamericana**, n.238, p.22-24, 2001.

LARIO, Y.; SENDRA, E.; GARCIA-PEREZ, J.; FUENTES, C.; SAYAS-BARBERA, E.; FERNANDEZ-LOPEZ, J.; PEREZ-ALVAREZ, J.A. Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.5, p.113-117, 2004.

LARRAURI, J.A.; RUPEREZ, P.; BOROTO, B.; SAURA-CALIXTO, F. Mango peels as a new tropical fibre: preparation and characterization. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.29, p.729-733, 1996.

LARRAURI, J.A. New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. **Trends in Food Science & Technology**, v.10, p.3-8, 1999.

LARREA, M.A. **Otimização do processo de extrusão da polpa de laranja**: modificação das propriedades funcionais e sua aplicação como fonte de fibra alimentar. 1999. 163p. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

LARREA, M.A.; CHANG, Y. K.; MARTÍNEZ BUSTOS, F. Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. **Food Chemistry**, v.89, n.2, p.301-308, 2005.

LEAL FRANCO, F. **Negócios no Pará**. Disponível em:

<<http://www.logica.com.br/users/gmoura/refet>>. Acesso em: 9 maio 2005.

LOPES, A.; PIRES, R.P. **Desenvolvimento de pão tipo francês com adição de fibra de maracujá e sal hipossódico**. Trabalho apresentado ao XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Curitiba, 2006. Não publicado.

LÓPEZ, G.; ROS, G.; RINCÓN, F. PERIAGO, M.J.; MARTÍNEZ, M.C.; ORTUNO, J. Propiedades funcionales de la fibra dietética, mecanismos de acción en el trato gastrointestinal. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.47, n.3, p.203-207, 1997.

MACHADO, F.M.; OLIVEIRA, F.A.R.; GEKAS, V.; SINHG, R.P. Kinetics of moisture uptake and soluble-solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water. **International Journal of Food Science and Technology**, v.33, p.225-237, 1998.

MACHADO, F.M.; OLIVEIRA, F.A.R.; CUNHA, L.M. Effect of milk fat and total solids concentration on the kinetics of moisture uptake by ready-to-eat breakfast cereals. **International Journal of Food Science and Technology**, v.34, p.47-57, 1999.

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

MAZZA, G. **Functional foods**, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc., 1998. 460p.

MENDONÇA, S.; GROSSMANN, M.V.E.; VERHE, R. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.33, p.2-8, 2000.

MERCIER, C.; CANTARELLI, C. **Pasta and extrusion cooked foods**: some technological and nutritional aspects. England: Elsevier, 1986. 199p.

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

NESTLÉ. Nutrição Clínica. **Fibras em nutrição enteral**. Disponível em: <<http://nutricaoclinica.nestle.com.br/publicacoes/fibrasnutricaenteral/>>. Acesso em: 10 abr. 2005.

OHR, L. M. Fortifying with fiber. **Food Technology**, v.58, n.2, p.71-75, 2004.

OKE, O.L. Toxicity of cyanogenic glycosides. **Food Chemistry**, v.6, p.97-109, 1980.

ONWULATA, C.I.; KONSTANCE, R.P.; SMITH, P.W. HOLSINGER, V.H. Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.34, p.424-429, 2001.

OTAGAKI, K.K.; MATSUMOTO, H. Nutritive values and utility of passion fruit byproducts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.6, n.1, p.64-67, 1958.

OZCAN, S.; JACKSON, D.S. Functionality behavior of raw and extruded corn starch mixtures. **Cereal Chemistry**, v.82, n.2, p.223-227, 2005.

PADMANABHAN, M.; BHATTACHARYA, M. Extrudate expansion during extrusion cooking of foods. **Cereal Foods World**, v.34, n.11, p.945-949, 1989.

PRUTHI, J.S. Physiology, chemistry and technology of passion fruit. **Advances in Food Research**, v. 12, p. 203, 1963.

PUPPALA, V. Texture comparison of traditional and extruded cornflakes. **Cereal Foods World**, v.43, n.8, p.650-652, 1998.

RALET, M.C.; DELLA-VALLE, G.; THIBAUT, F.F. Raw and extruded fibre from pea hulls. Part I: Composition and physico-chemical properties. **Carbohydrate Polymers**, v.20, p.17-23, 1993.

REHBER, E.; TURHAM, S. Prospects and challenges for developing countries in trade and production of organic food and fibers. **British Food Journal**, v.104, n.5, p.371-390, 2002.

RHEE, K.S.; CHO, S.H.; PRADAHN, A.M. Expanded extrudates from corn starch-lamb blends: process optimization using response surface methodology. **Meat Science**, v.52, p.127-134, 1999.

RIAZ, M.N. **Extruders in Food Applications**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. 225p.

ROBERFROID, M. Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.33, p.103-148, 1993.

ROBERTS, S.B. High-glycemic index foods, hunger, and obesity: is there a connection? **Nutrition Reviews**, v.58, p.163–169, 2000.

ROKEY, G. J. RTE breakfast cereal flake extrusion. **Cereal Foods World**, v.40, p.422-424, 1995.

RUEDA, J.; CHANG, Y.K.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. Functional characteristics of texturized defatted soy flour. **Agrociencia**, v.38, p.63-73, 2004.

SACCHETTI, G.; PITTIA, P.; BISERNI, M.; PINNAVAIA, G.G.; ROSA, M.D. Kinetic modelling of textural changes in ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk. **International Journal of Food Science and Technology**, v.38, p.135-143, 2003.

SACCHETTI, G.; PITTIA, P.; PINNAVAIA, G.G. The effect of extrusion temperature and drying-tempering on both the kinetics of hydration and the textural changes in extruded ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk. **International Journal of Food Science and Technology**, v.40, p.655-663, 2005.

SGARBIERI, V.C.; PACHECO, M.T.B. Revisão: Alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.2, n.1,2, p.7-19, 1999.

SLAVIN, L.J. Dietary fiber and body weight. **Nutrition**, v.21, p.411-418, 2005.

SMITH, A.P.; CLARK, R.; GALLAGHER, J. Breakfast cereal and caffeinated coffee: effects on working memory, attention, mood and cardiovascular function. **Physiology & Behavior**, v.67, n.1, p.9-17, 1999.

SPENCER, K.C.; SEIGLER, D.S. Cyanogenesis of *Passiflora edulis*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.31, n.4, p.794-796, 1983.

STARK, A.; MADAR, Z. Dietary fiber. In: GOLDBERG, I. **Functional foods**. New York: Chapman & Hall, 1994. p.183-201.

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

TROWELL, H.; SOUTHGATE, D.A.; WOLEVER, T.M.; LEEDS, A.R.; GASSUL, M.A.; JENKINS, D.J. Dietary fibre redefined. **Lancet**, v.1, p.967, 1976.

WANG, W.M.; KLOPFENSTEIN, F.; PONTE, J.R. Effect of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. **Cereal Chemistry**, v.70, n.6, p.709-711, 1993.

WILLIAMS, C.L.; BOLLELLA, M.; WYNDER, E.L. A new recommendation for dietary fiber in childhood. **Pediatrics**, v.96, n.5, p.985-988, 1995.

ZABIK, M.E. Impact of ready-to-eat cereal consumption on nutrient intake. **Cereal Foods World**, v.32, n.3, p.234-239, 1987.

8. APÊNDICES

Apêndice 1. Valores experimentais e preditos e desvios relativos para o índice de expansão (IE), dureza e dureza após 5 minutos de imersão em leite dos produtos extrusados

E	IE			Dureza			Dureza após 5 minutos		
	Valor Exp	Valor Predito	Desvio Relativo	Valor Exp	Valor Predito	Desvio Relativo	Valor Exp	Valor Predito	Desvio Relativo
1	3,88	4,31	-11,11	11,98	11,08	7,53	13,55	13,49	0,45
2	3,86	3,49	9,68	21,31	21,94	-2,95	20,18	17,93	11,16
3	3,63	2,93	19,36	17,24	12,54	27,28	15,39	16,61	-7,94
4	1,59	2,11	-32,30	19,81	23,40	-18,10	13,41	14,17	-5,66
5	3,17	2,93	7,55	10,16	4,72	53,52	9,82	8,45	13,99
6	1,63	2,11	-29,36	9,36	1,50	83,97	5,30	3,45	34,94
7	1,18	1,55	-31,03	25,73	32,98	-28,16	16,14	17,77	-10,07
8	1,02	0,73	28,26	24,35	29,76	-22,22	6,43	5,89	8,45
9	3,06	3,21	-4,92	17,83	14,03	21,32	15,76	15,35	2,63
10	1,96	1,83	6,51	19,80	20,45	-3,27	6,32	9,09	-43,76
11	4,11	3,68	10,38	11,54	4,74	58,89	6,36	9,88	-55,38
12	1,58	1,36	13,91	21,27	29,74	-39,79	16,17	14,56	9,99
13	3,77	3,68	2,26	20,97	17,24	17,78	19,85	17,82	10,21
14	1,75	1,36	22,31	15,92	17,24	-8,31	7,57	6,62	12,52
15	2,06	2,52	-22,46	16,27	17,24	-5,94	12,36	12,22	1,11
16	2,09	2,52	-20,86	14,88	17,24	-15,87	12,44	12,22	1,76
17	2,44	2,52	-3,17	14,86	17,24	-15,98	10,45	12,22	-16,91
18	2,62	2,52	3,91	17,01	17,24	-1,33	12,42	12,22	1,58

Valor Exp: valor experimental; Desvio Relativo = [(Valor Exp – Valor Predito) / Valor Exp] * 100

Apêndice 2. Valores experimentais e preditos e desvios relativos para a luminosidade (L^*) e o ângulo de tonalidade (h_{ab}) dos produtos extrusados

E	Luminosidade			Ângulo de Tonalidade		
	Exp	Predito	Desvio Relativo	Exp	Predita	Desvio Relativo
1	58,45	54,81	6,23	78,94	78,07	1,10
2	44,15	47,29	-7,11	70,89	71,77	-1,24
3	48,52	54,81	-12,96	76,68	76,19	0,64
4	50,45	47,29	6,26	75,50	73,65	2,46
5	62,55	63,29	-1,18	78,36	81,21	-3,64
6	58,56	55,77	4,76	75,04	74,91	0,18
7	59,24	63,29	-6,84	77,61	79,33	-2,21
8	52,38	55,77	-6,47	74,94	76,79	-2,47
9	68,26	64,81	5,05	83,44	82,04	1,68
10	51,53	52,17	-1,23	74,57	74,60	-0,05
11	54,02	53,54	0,89	73,66	75,49	-2,48
12	52,71	53,54	-1,57	75,90	75,49	0,54
13	48,16	46,41	3,64	72,19	72,85	-0,92
14	64,03	60,67	5,25	82,59	78,13	5,40
15	55,04	53,54	2,73	76,81	75,49	1,72
16	55,58	53,54	3,67	74,98	75,49	-0,68
17	52,97	53,54	-1,08	75,00	75,49	-0,65
18	51,00	53,54	-4,98	75,29	75,49	-0,26

Valor Exp: valor experimental; Desvio Relativo = $[(\text{Valor Exp} - \text{Valor Predito}) / \text{Valor Exp}] * 100$

Apêndice 3. Valores experimentais e preditos e desvios relativos para o índice de solubilidade em água (ISA) e o índice de absorção de óleo (IAO) dos produtos extrusados

E	ISA			IAO		
	Exp	Predito	Desvio Relativo	Exp	Predita	Desvio Relativo
1	22,1	20,59	6,95	2,73	2,77	-1,52
2	20,9	24,59	-17,65	2,77	2,97	-7,19
3	18,5	17,07	7,51	2,88	2,93	-1,56
4	24,8	21,07	14,99	3,18	3,13	1,68
5	22,3	25,03	-12,04	3,85	3,65	5,16
6	30,4	29,03	4,50	3,20	3,21	-0,21
7	31,9	28,55	10,53	3,61	3,49	3,29
8	35,1	32,55	7,39	3,34	3,05	8,58
9	20,5	21,446	-4,53	3,21	3,2509	-1,25
10	27	28,174	-4,29	3,03	3,0491	-0,69
11	27,2	24,81	8,71	3,21	3,15	1,85
12	23,5	24,81	-5,56	3,01	3,15	-4,79
13	17,7	18,116	-2,33	3,07	2,8136	8,26
14	30,1	31,504	-4,75	3,25	3,4864	-7,23
15	25,5	24,81	2,89	3,18	3,15	1,00
16	24,7	24,81	-0,52	3,02	3,15	-4,28
17	22,2	24,81	-12,00	3,19	3,15	1,31
18	22,1	24,81	-12,47	3,01	3,15	-4,64

Valor Exp: valor experimental; Desvio Relativo = [(Valor Exp – Valor Predito) / Valor Exp] * 100

Apêndice 4. Valores experimentais e preditos e desvios relativos para o teor de compostos cianogênicos totais (CCT) dos produtos extrusados

E	CCT		Desvio Relativo
	Exp	Predito	
1	49,33	50,92	-3,22
2	187,27	184,98	1,22
3	63,69	50,92	20,06
4	164,71	184,98	-12,31
5	53,63	50,92	5,06
6	174,18	184,98	-6,20
7	80,99	50,92	37,12
8	209,55	184,98	11,72
9	0,00	16,55	-
10	254,09	242,01	4,75
11	82,45	97,23	-17,93
12	97,98	97,23	0,76
13	135,01	129,28	4,24
14	110,78	129,28	-16,70
15	144,19	129,28	10,34
16	117,62	129,28	-9,91
17	117,62	129,28	-9,91

Valor Exp: valor experimental; Desvio Relativo = [(Valor Exp – Valor Predito) / Valor Exp] * 100