

Características Tecnológicas de Misturas de Arroz e Feijão Processadas por Extrusão Termoplástica



ISSN 1983-0483

Dezembro, 2012

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Amazônia Oriental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 80

Características Tecnológicas de Misturas de Arroz e Feijão Processadas por Extrusão Termoplástica

*Ana Vânia Carvalho
Alessandro de Oliveira Rios
Priscila Zaczuk Bassinello
Anna Cristina Pinheiro Lima
Lara Lima Seccadio*

Embrapa Amazônia Oriental
Belém, PA
2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Oriental

Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n.
Caixa Postal 48. CEP 66095-100 - Belém, PA.
Fone: (91) 3204-1000
Fax: (91) 3276-9845
www.cpatu.embrapa.br
cpatu.sac@embrapa.br

Comitê Local de Publicação

Presidente: *Michell Olívio Xavier da Costa*
Secretário-Executivo: *Moacyr B. Dias-Filho*
Membros: *Orlando dos Santos Watrin*
Márcia Mascarenhas Grise
José Edmar Urano de Carvalho
Regina Alves Rodrigues
Rosana Cavalcante de Oliveira

Revisão técnica:

José Luís Ramirez Ascheri – Embrapa Agroindústria de Alimentos
Cristina Yoshie Takeiti – Embrapa Agroindústria de Alimentos
Carlos W. Piler de Carvalho – Embrapa Agroindústria de Alimentos

Supervisão editorial: *Luciane Chedid Melo Borges; Narjara de Fátima Galiza da Silva Pastana*

Revisão de texto: *Narjara de Fátima Galiza da Silva Pastana*
Normalização bibliográfica: *Andréa Liliãne Pereira da Silva*
Tratamento de imagem: *Vitor Trindade Lôbo*
Editoração eletrônica: *Euclides Pereira dos Santos Filho*
Foto da capa: *Ana Vânia Carvalho*

1ª edição

Versão eletrônica (2012)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Amazônia Oriental**

Características tecnológicas de misturas de arroz e feijão processadas por extrusão termoplástica / Ana Vânia Carvalho ... [et al.] – Belém, PA : Embrapa Amazônia Oriental, 2012.
24 p. ; 21 cm x 14,8 cm. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Amazônia Oriental; ISSN 1983-0483; 80).

1. Alimento. 2. Arroz. 3. Feijão. 4. Farinha mista. 5. Extrusão.
I. Carvalho, Ana Vânia. II. Série.

CDD 21. Ed. 664

© Embrapa 2012

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	12
Conclusões	20
Referências	21

Características Tecnológicas de Misturas de Arroz e Feijão Processadas por Extrusão Termoplástica

Ana Vânia Carvalho¹

Alessandro de Oliveira Rios²

Priscila Zaczuk Bassinello³

Anna Cristina Pinheiro Lima⁴

Lara Lima Seccadio⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar os parâmetros relevantes para elaboração de uma farinha mista de arroz (*Oryza sativa*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) destinada à elaboração de sopa de fácil preparo e avaliar a influência das formulações e condições do processamento nas características do produto final. Utilizou-se um planejamento experimental rotacional 2³, consistindo em 20 ensaios com 6 pontos centrais e 6 axiais. Porcentagem de farinha de feijão e farinha de arroz (FA:FF), umidade e temperatura de processamento foram adotadas como variáveis independentes, tendo como respostas teor de proteína (Y_1), índice de absorção de água (Y_2) e índice de solubilidade em água (Y_3). Os ensaios foram processados em extrusor monorroscas. A temperatura variou somente na terceira zona do extrusor, conforme o planejamento experimental, permanecendo fixa na zona 1 (30 °C) e na

¹Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisadora na Embrapa Amazônia Oriental, ana-vania.carvalho@embrapa.br.

²Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, professor adjunto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, alessandro.rios@ufrgs.br.

³Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência de Alimentos, pesquisadora na Embrapa Arroz e Feijão, priscila.bassinello@embrapa.br.

⁴Graduanda em Engenharia de Alimentos, bolsista de iniciação científica na Embrapa Amazônia Oriental, cristinapinheiroii@hotmail.com.

⁵Engenheira de Alimentos, mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, bolsista na Embrapa Amazônia Oriental, laraseccadio@hotmail.com.

zona 2 (40 °C). A otimização do processo de extrusão para a produção da farinha mista de arroz e feijão foi realizada por meio da metodologia de superfície de resposta, observando-se as melhores condições de processamento quando foi utilizado 40% de farinha de feijão, 60% de farinha de arroz, 26% de umidade de condicionamento da matéria-prima e temperatura na terceira zona do extrusor de 70 °C.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, *Oryza sativa*, extrusão termoplástica, planejamento experimental.

Technological Characteristics of Mixtures of Rice and Bean Processed by Thermoplastic Extrusion

Abstract

This work aims to analyze relevant parameters to obtain mixed flour of rice (*Oryza sativa*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) intended for the preparation of an easy to prepare soup and to evaluate the influence of formulations and processing conditions on final product characteristics. A 2^3 central rotational experimental design was carried out, consisting of 20 runs with 6 central and 6 axial points. Percentage of rice and bean flour (RF:BF), moisture and temperature were adopted as independent variables and the protein content (Y_1), the water absorption index (Y_2), and the water solubility index (Y_3) as responses. The assays were processed in a single-screw extruder varying only the third extruder zone, according to experimental design and keeping fixed at zones 1 (30 °C) and 2 (40 °C). The extrusion process optimization for rice and bean mixed flour was done by using the response surface method and the best processing conditions of instant soup from rice and bean were observed when applying 40% of bean flour, 60% of rice flour, 26% of raw material conditioning moisture and 70 °C for third extruder zone temperature.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, *Oryza sativa*, thermoplastic extrusion, experimental design.

Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) desempenha papel importante como alimento básico da população mundial, ocupando posição de destaque do ponto de vista alimentício, econômico e social (BORTOLOTTO et al., 2008). É um alimento hipoalergênico, não tóxico para portadores de doença celíaca, os quais apresentam intolerância às proteínas do trigo, aveia, centeio e cevada (CLERICI; EL-DASH, 2008; MESQUITA et al., 2007).

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) constitui a base alimentar da maioria dos brasileiros e é a principal leguminosa fornecedora diária de proteínas para as classes socioeconômicas menos favorecidas. Apresenta elevado teor de lisina, carboidratos complexos, além da presença de vitaminas do complexo B e de ferro, porém apresenta inadequado balanço de aminoácidos essenciais na alimentação, com teores insuficientes dos aminoácidos sulfurados – metionina e cistina. A combinação do feijão com cereais é interessante, para que se obtenha uma dieta com conteúdo de aminoácidos mais adequados aos requisitos nutricionais da espécie humana (ANTUNES et al., 1995; LIMBERGER et al., 2008).

Durante o beneficiamento do arroz branco são produzidos em média 14% de grãos quebrados, classificados como quirera, e desses grãos apenas 10% podem ser adicionados ao produto final. Essa matéria-prima tem ganhado espaço na elaboração de novos produtos e na utilização como ingrediente, tornando-se uma alternativa economicamente viável se comparada com outro cereal (BARRETO et al., 2006; LIMBERGER et al., 2008). No caso do feijoeiro comum, existe também a formação de grãos quebrados, normalmente de cozimento difícil e, portanto, com baixo valor comercial, denominados vulgarmente de “bandinha de feijão”, que por sua vez também pode ser transformado em farinha para fins alimentícios. Ambos os subprodutos apresentam composição nutricional similar à do produto original, porém com valor de mercado inferior (SILVA; ASCHERI, 2009).

O emprego de arroz e feijão na obtenção de farinhas pré-gelatinizadas por extrusão pode ampliar o uso desse cereal e dessa leguminosa em diferentes produtos alimentícios (CLERICI; EL-DASH, 2008). Podem ser destinadas para a produção de cereais matinais, snacks (expandidos ou não, como o caso dos extrudados de terceira geração), alimentos infantis e sopas instantâneas (ASCHERI et al., 2000; CAPRILES; ARÊAS, 2005).

O cozimento por extrusão é usado na indústria de alimentos para a obtenção de produtos expandidos. As necessidades econômicas atuais levaram as indústrias a revisarem seus processos e a qualidade dos seus produtos. Assim, é importante a busca de novos mercados, bem como de formas para tornar rentáveis os coprodutos, por meio de tecnologias de baixo custo de implantação, como é o caso da extrusão (CAMARGO et al., 2008).

De acordo com Ascheri et al. (2000) e Capriles e Arêas (2005), a extrusão termoplástica é um processo no qual a ação mecânica é combinada com o calor para gelatinizar o amido, ocorrendo sua fluidização, permitindo criar novas texturas e formas para o produto final. Chen et al. (1991) complementam que a extrusão é um processo contínuo de um reator que trabalha a altas temperaturas e curto espaço de tempo, em combinação com a força de cisalhamento e percentuais de umidade relativamente baixos, adequados para transformar várias matérias-primas em produtos intermediários ou finais totalmente modificados.

A extrusão permite ainda a obtenção de um efeito nutricional benéfico ao produto, uma vez que viabiliza a mistura de diferentes matérias-primas e outros nutrientes (CARVALHO et al., 2010). Essa técnica possibilita incorporar minerais e vitaminas na composição da mistura, prolongar a vida de prateleira – uma vez que destrói microrganismos –, inativar complexos enzimáticos e componentes antinutricionais, além de apresentar um baixo custo ao produto final (ANDERSON; HEDLUND, 1990; GUZMAN et al., 1992).

O planejamento experimental, também denominado delineamento experimental, é uma ferramenta estatística importante e simples que representa um conjunto de ensaios estabelecido com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis e interações entre elas nos resultados de um dado sistema ou processo (BARROS NETO et al., 1995).

Essa ferramenta é essencial no desenvolvimento de novos produtos e no aprimoramento de processos em utilização, em virtude da possibilidade de redução da variabilidade de resultados e tempos de análise, além dos custos envolvidos. Permite, portanto, a estimativa de modelos matemáticos que irão representar o comportamento dos sistemas de misturas em todo o espaço experimental (BARROS NETO et al., 1995; REIS; ANDRADE, 1996).

O objetivo deste trabalho foi obter e caracterizar tecnologicamente farinhas mistas destinadas à elaboração de sopa de fácil preparo, obtidas por extrusão termoplástica, por meio da combinação de temperatura, umidade da matéria-prima e quantidade adicionada de bandinha de feijão.

Material e Métodos

Obtenção das farinhas de arroz e feijão

A quirera de arroz e a bandinha de feijão, obtidas da Embrapa Arroz e Feijão, foram moídas em moinho de facas tipo Willye, marca Tecnal, modelo TE-650 (Piracicaba, SP), para transformação em farinha de arroz (FA) e farinha de feijão (FF). A granulometria foi determinada pela passagem de 200 g das farinhas por um conjunto de peneiras vibratórias da marca Produtest, com agitação constante por 10 minutos a uma intensidade de vibração correspondente à posição nº 8 do reostato do aparelho. Posteriormente, as quantidades retidas em cada peneira (2,19, 0,84, 0,66 e 0,50 mm) e no fundo foram pesadas e as respectivas porcentagens calculadas.

Planejamento experimental

As misturas de arroz e feijão foram processadas testando-se diferentes combinações de FA:FF (X_1), temperatura na terceira zona de extrusão (X_2) e umidade das matérias-primas (X_3) e otimizadas por meio de delineamento central composto rotacional de terceira ordem, com 8 pontos lineares, 6 pontos centrais e 6 axiais (BARROS NETO et al., 1995), tendo como respostas: teor de proteína (Y_1), índice de absorção de água (Y_2) e índice de solubilidade em água (Y_3). Os níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental foram definidos em virtude de testes preliminares realizados e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental.

Variáveis independentes	Níveis codificados e reais das variáveis independentes				
	- 1,68	-1	0	+ 1	+ 1,68
Proporção FA:FF	87:13	80:20	70:30	60:40	53:47
Temperatura 3ª Zona (°C)	40	50	65	80	90
Umidade de acondicionamento (%)	16	18	21	24	26

FA:FF – farinha de arroz:farinha de feijão.

Os extrudados foram processados em extrusora monorroscas (Labor PQ30 - Inbramaq, Indústria de Máquinas Ltda., Ribeirão Preto, São Paulo), de configuração e parafuso intercambiáveis, sendo o parafuso sem fim com 35,5 cm de comprimento e 3,5 cm de diâmetro e taxa de compressão de 3:1, com controle de temperatura nas diferentes zonas de aquecimento e velocidade do parafuso regulável. As temperaturas na primeira e segunda zonas do extrusor foram mantidas constantes (Zona 1 = 30 °C; Zona 2 = 40 °C), velocidade do parafuso (170 rpm), taxa de alimentação de 250 g.min⁻¹ e matriz circular de 3,85 mm. Os ensaios processados foram coletados manualmente, triturados em moinho de facas tipo Willye, marca Tecnal, modelo TE-650 (Piracicaba, SP) e armazenados em sacos de polietileno até o momento das análises.

Todas as respostas do planejamento experimental foram analisadas de acordo com Barros Neto et al. (1995) com o auxílio do software *Statistica*® versão 5.0 (STATISTIC..., 1995). O teor de proteínas das farinhas mistas foi determinado de acordo com método proposto pela American Association of Cereal Chemists (1995) e o índice de absorção de água e o índice de solubilidade em água, segundo metodologia descrita por Anderson et al. (1969). Para as análises de índice de absorção de água e índice de solubilidade em água as amostras foram trituradas até granulometria inferior a 0,5 mm.

Resultados e Discussão

Caracterização granulométrica das farinhas de arroz e feijão

Os resultados encontrados para a granulometria das farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão (Tabela 2), utilizadas na formulação da mistura extrudada, ficaram retidas, com quantidade de partículas de 61,58% e 84,23% respectivamente, entre as peneiras de 2,19 mm e 0,50 mm, evidenciando que as matérias-primas tiveram uma distribuição de partículas relativamente homogênea, característica importante para o cozimento da massa no processamento dentro do extrusor, pois evita a segregação de fases entre as farinhas.

Tabela 2. Análise granulométrica das farinhas de quirera de arroz e bandinha de feijão.

Farinha (%)	Tamanho de partículas (mm)				
	> 2,19	2,19-0,84	0,84-0,66	0,66-0,50	< 0,50
Quirera de arroz	0,00 ± 0,00	61,58 ± 1,07	37,01 ± 0,17	0,53 ± 0,51	0,87 ± 0,50
Bandinha de feijão	3,66 ± 0,32	84,23 ± 0,55	11,43 ± 0,32	0,23 ± 0,06	0,43 ± 0,23

Otimização do processo de extrusão de farinhas mistas de arroz e feijão

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de teor de proteína, índice de absorção de água e índice de solubilidade em água obtidos dos experimentos com sopas instantâneas de arroz e feijão, de acordo com a matriz do planejamento experimental.

Tabela 3. Resultados dos experimentos do planejamento fatorial completo para as variáveis proteína, índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) para farinhas mistas de arroz e feijão.

Experimento	Níveis das variáveis em unidades reais					
	FA:FF	Temperatura (oC)	Umidade (%)	Proteína (%)	IAA (g/g)	ISA (%)
1	80:20	50	18	11,20	6,28	24,47
2	60:40	50	18	12,93	7,18	24,97
3	80:20	80	18	11,52	6,71	26,79
4	60:40	80	18	13,25	6,59	26,62
5	80:20	50	24	11,83	7,40	19,23
6	60:40	50	24	12,33	7,02	18,93
7	80:20	80	24	11,06	7,07	15,77
8	60:40	80	24	13,20	7,14	17,68
9	87:13	65	21	10,04	7,56	17,42
10	53:47	65	21	13,89	5,30	17,42
11	70:30	40	21	11,16	6,59	31,40
12	70:30	90	21	11,84	6,66	30,67
13	70:30	65	16	12,77	5,80	24,37
14	70:30	65	26	11,14	6,67	16,25
15	70:30	65	21	11,79	6,80	24,58
16	70:30	65	21	12,42	6,85	24,78
17	70:30	65	21	11,87	6,87	28,10
18	70:30	65	21	12,57	6,44	26,35
19	70:30	65	21	11,35	6,06	27,57
20	70:30	65	21	12,46	5,56	26,95

* Média de 3 replicatas.

FA:FF – farinha de arroz:farinha de feijão.

Proteína

Observou-se que, nos diferentes ensaios realizados, a farinha mista apresentou valores para o teor de proteínas variando entre 10,04% e 13,89%, como valores mínimo e máximo, respectivamente (Tabela 3). O ensaio com maior teor de proteína foi o Ensaio 10, com alto teor

de farinha de feijão (47%) e valores de umidade (21%) e temperatura (65 °C) intermediários. Por sua vez, o Ensaio 9 apresentou o menor teor proteico, também processado em condições intermediárias do planejamento com relação ao valor de umidade (21%) e temperatura (65 °C), mas com a condição mais baixa para o teor de farinha de feijão (13%). Tais resultados eram esperados, uma vez que a finalidade de adicionar farinha de feijão à farinha de arroz nas formulações foi de enriquecer a mistura, especialmente no teor de proteína, para obtenção de um produto extrudado fonte de proteína de origem vegetal, visto que o feijão apresenta cerca de 20% de proteínas (LIMA et al., 2006). De acordo com os resultados da análise estatística obtidos para a resposta teor de proteína, observou-se que o único parâmetro que apresentou efeito estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$) foi a porcentagem de farinha de feijão linear (Tabela 4).

Tabela 4. Efeitos estimados pelo modelo de regressão para a variável proteína.

Variáveis independentes	Efeitos estimados	Erro Puro	t-valor	p-valor
Interceptação	12,0655	0,16963	61,4788	0,0000
Farinha de feijão (L)	1,8411	0,2606	7,0659	0,0009
Farinha de feijão (Q)	0,0791	0,2539	0,3126	0,7672
Temperatura (L)	0,2753	0,2606	1,0564	0,3391
Temperatura (Q)	-,02493	0,2539	-,09818	0,3713
Umidade (L)	-0,4696	0,2606	-1,8024	0,61313
Umidade (Q)	0,0706	0,2539	0,2780	0,7922
Farinha de feijão - Temperatura	0,4075	0,3403	1,1975	0,2848
Farinha de feijão - Umidade	0,2053	0,3403	-0,6033	0,5726
Umidade - Temperatura	-0,1329	0,3403	-0,3904	0,7123

De acordo com a análise de variância (Anova) dos resultados obtidos para a resposta teor de proteínas, 71% da variabilidade na resposta pode ser explicada pelo modelo ($r^2 = 0,71$). Já o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi 9,80 vezes o de F_{tabelado} para a regressão a 5% de significância. Sendo

assim, além do modelo ser significativo, ele também é preditivo, pois, segundo Barros Neto et al. (1995), para que uma regressão seja não apenas estatisticamente significativa, mas também válida para fins preditivos, o valor de $F_{\text{calculado}}$ deve ser no mínimo 4 a 5 vezes o valor de F_{tabelado} e o r^2 deve ser maior ou igual a 60%. O modelo de regressão ainda obteve falta de ajuste ideal, ou seja, não significativa ($F_{\text{tabelado}} > F_{\text{calculado}}$), e um erro médio de 3,52%. Segundo Lomauro et al. (1985), o erro é considerado satisfatório, para fins preditivos, quando não ultrapassa o limite de 10%.

O modelo obtido para a proteína em função das variáveis estudadas está apresentado abaixo:

$$y = 12,03 + 0,92 x_1 \quad (\text{Equação 1})$$

onde: y = % proteína; x_1 = farinha de feijão.

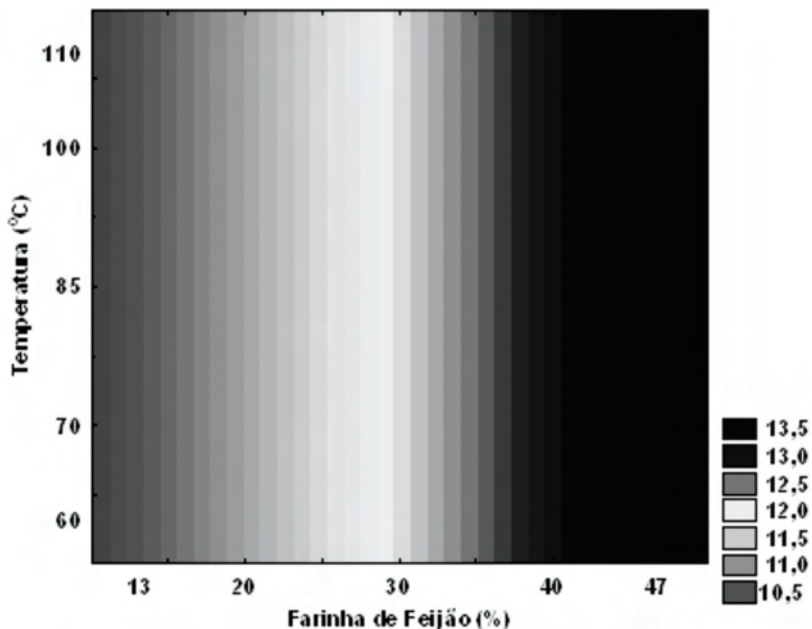


Figura 1. Gráfico de superfície de contorno para a variável proteína (%) em função da temperatura (°C) e farinha de feijão (%).

De acordo com a Figura 1, pode-se confirmar que o teor de proteína é diretamente proporcional ao aumento do teor de farinha de feijão, sendo, de fato, a única variável de influência no teor de proteína.

Índice de Absorção de Água

De acordo com a análise estatística, não foi observada influência significativa das variáveis independentes sobre a resposta índice de absorção de água. Sendo assim, não foi possível gerar um modelo matemático para descrever essa resposta, dentro da faixa estudada. Porém, apesar do IAA não ser estatisticamente significativo, é interessante comentar que a capacidade de absorção de água indica uma interação da fração amilácea e proteica, as quais são predominantes nas misturas de arroz e feijão.

Índice de Solubilidade em Água

O índice de solubilidade em água (ISA) está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, quebra, modificação e consequente solubilização do amido (CARVALHO et al., 2002). Sendo assim, o ISA é um parâmetro que mede o grau de degradação total do grânulo de amido. No presente trabalho, esse parâmetro variou de 15,77% a 31,40%. O Ensaio 11 foi o que apresentou maior valor de ISA, com valores intermediários para o teor de farinha de feijão (30%) e umidade (21%), e baixa temperatura de processo (40 °C). Por outro lado, o ensaio com menor ISA foi o Ensaio 7, onde empregou-se baixo teor de farinha de feijão (20%), alta temperatura de processo (80 °C) e alto valor de umidade (24%).

Deve-se ainda ser considerado que o aumento do ISA nas misturas com maior teor de feijão pode estar associado à presença de açúcares do feijão. O cisalhamento causado pelo processamento por extrusão pode ter permitido liberação desses açúcares da matriz do endosperma e isso, portanto, não estaria necessariamente ligado ao efeito do cisalhamento somente sobre o grânulo de amido, mas também sobre os açúcares liberados.

Por meio dos resultados obtidos pelo planejamento, realizou-se a análise estatística dos dados, na qual observou-se efeito significativo para porcentagem de farinha de feijão quadrática, temperatura quadrática, umidade linear e quadrática, e a interação temperatura x umidade linear (Tabela 5). As variáveis independentes farinha de feijão quadrática, umidade linear e umidade quadrática apresentaram efeitos negativos sobre o ISA, indicando que um aumento nessas variáveis contribui para a diminuição dessa variável no produto extrudado. Já a elevação da variável temperatura quadrática indica um efeito positivo, ou seja, um aumento do ISA.

Tabela 5. Efeitos estimados pelo modelo de regressão para a variável índice de solubilidade em água.

Variáveis independentes	Efeitos estimados	Erro Puro	t-valor	p-valor
Interceptação	26,4180	0,5919	44,6353	0,0000
Farinha de feijão (L)	0,2831	0,47858	0,3603	0,7333
Farinha de feijão (Q)	-6,7354	0,7658	-8,7951	0,0003
Temperatura (L)	-0,2865	0,7858	-0,3645	0,7304
Temperatura (Q)	2,9139	0,7658	3,8050	0,0126
Umidade (L)	-6,5791	0,7858	-8,3727	0,0004
Umidade (Q)	-4,6816	0,7658	-6,1132	0,0017
Farinha de feijão - Temperatura	0,3846	1,0262	0,3747	0,7232
Farinha de feijão - Umidade	0,3222	1,0262	0,3140	0,7662
Umidade - Temperatura	-2,1737	1,0262	-2,1182	0,0877

Observou-se, em função da análise de variância, valor de r^2 de 0,95, indicando que o modelo explica 95% da variação dos dados observados para o ISA. Já o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi 18,11 vezes o valor de F_{tabelado} a 10% de significância, tornando o modelo, além de significativo, também preditivo, sendo analisado, ainda, um erro médio baixo para esse modelo de 3,90. Verificou-se também que não houve falta de ajuste significativa, ou seja, $F_{\text{tabelado}} > F_{\text{calculado}}$.

O modelo obtido para o índice de solubilidade em água em função das variáveis estudadas está apresentado abaixo:

$$y = 26,42 - 3,36(x_1)^2 + 1,45(x_2)^2 - 3,29x_3 - 2,34(x_3)^2 - 1,09x_2x_3 \quad (\text{Equação 2})$$

onde: y = ISA; x_1 = farinha de feijão; x_2 = temperatura; x_3 = umidade.

Os gráficos de superfície de contorno para o ISA são apresentados nas Figuras 2 e 3.

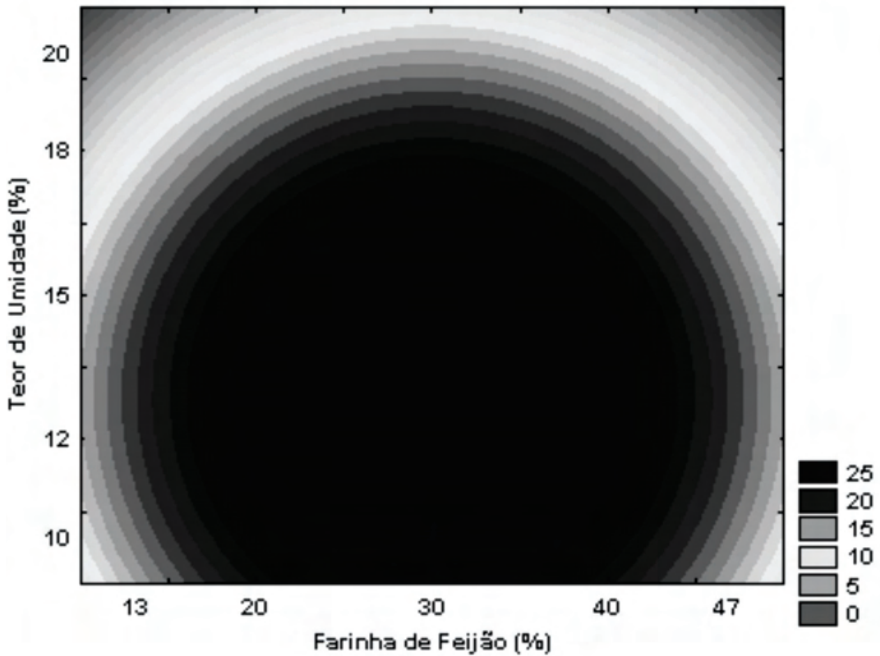


Figura 2. Gráfico de superfície de contorno para a variável índice de solubilidade em água em função da umidade (%) e da farinha de feijão (%).

Observa-se na Figura 2 o comportamento do ISA em relação à interação umidade e farinha de feijão, em que se pode constatar que o valor mais elevado para essa variável foi observado no ponto central, porém ainda encontram-se valores elevados para essa variável empregando-se de

20% a 40% de farinha de feijão combinados a umidades de 12% a 18,5%. Essas regiões abordam as condições de processo desejáveis para o produto em estudo, considerando que um alto valor para o ISA é uma característica esperada para um preparado semipronto como a sopa instantânea.

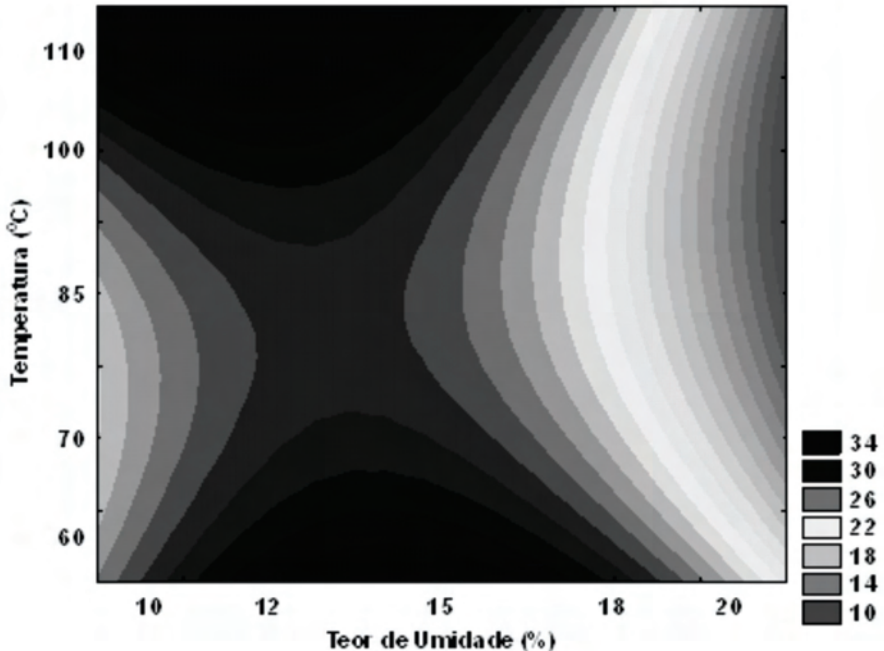


Figura 3. Gráfico de superfície de contorno para a variável índice de solubilidade em água em função da temperatura (°C) e da umidade (%).

Observa-se na Figura 3 que, para farinha instantânea de arroz e feijão, base para preparação de sopa instantânea, a umidade possui maior influência sobre o ISA do que a temperatura, tendo em vista que para todos os valores de umidade obteve-se valores elevados de ISA, e que as maiores alterações observadas para essa variável ocorreram em função da variação da umidade de processamento.

De acordo com a Figura 2 e com a Figura 3, pode-se observar que os valores mais baixos para o ISA encontram-se na condição extrema mais elevada de umidade. Lustosa et al. (2009) obtiveram menores ISA nas condições extremas de umidade, sugerindo que nas condições mais elevadas de umidade a água funciona como lubrificante, diminuindo o atrito e promovendo menor degradação do amido e menor desnaturação proteica, e, com isso, levando a menores ISA.

Conclusões

A farinha mista destinada à elaboração de sopa de fácil preparo, obtida a partir da extrusão de farinhas de arroz e feijão, apresentou as melhores características tecnológicas e proteica quando processada sob temperatura de 70 °C, 26% de umidade e com adição de 40% de farinha de feijão à farinha de arroz.

Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 8 ed. Saint Paul, 1995. 2v.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN, L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.
- ANDERSON, Y.; HEDLUND, B. Extruded wheat flour: correlation between processing and product quality parameters. **Food Quality and Preference**, Nova York, v. 2, n. 4, p. 201-216, 1990.
- ANTUNES, P. L.; BILHALVA, A. B.; ELIAS, M. C.; SOARES, G. J. D. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivares rico 23, carioca, piratã-1 e rosinha-g2. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 12-18, 1995.
- ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P.; MATSUURA, F. C. A. U. Elaboração de pellets de farinha de raspa de mandioca por extrusão termoplástica (escala piloto e industrial). **Alimentaria**, Madri, v. 37, n. 309, p. 101-106, 2000.

BARRETO, P. L. M.; CARDOSO, V. U.; DAMIAN, C. Propriedades reológicas de emulsões alimentícias (maionese) contendo farinha crua de arroz, farinha de arroz pré-gelatinizada ou amido de milho como estabilizante. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., 2006, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** São Paulo: SBPC: UFSC, 2006. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/58ra>. Acesso em: 11 nov. 2011.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. 2. ed. Campinas: Ed. UNICAMP, 1995. 299 p.

BORTOLOTTI, R. P.; MENEZES, N. L. de; GARCIA, D. C.; MATTIONI, N. M. Teor de proteína e qualidade fisiológica de sementes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 513-520, 2008.

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

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e de ácidos graxos trans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 363-369, 2005.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M. de; ASSIS, G. T.; ASCHERI, J. L. R.; SILVA, P. A. Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 995-1003, 2010.

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

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

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

GUZMAN, L. B.; LEE, T. C.; CHICHESTER, C. O. Lipid binding during extrusion cooking. In: KOKINI, J. L.; HO, C. T.; MUKUND, V. K. (Ed.). **Food Extrusion Science and Technology**. New York: Marcel Dekker Inc., 1992. cap. 7, p. 427- 436.

LIMA, D. M.; COLUGNATI, F. A. B.; PADOVANI, R. M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; SALAY, E.; GALEAZZI, M. A. M. **Tabela brasileira de composição de alimentos** - TACO. Versão 2. 2. ed. Campinas, SP: NEPA - UNICAMP, 2006. 113 p. il. Versão 2. Disponível em: www.unicamp.br/nepa/taco/. Acesso em: 20 out. 2011.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 84-88, 2008.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equation. Part I: fruit, vegetables and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, Zurich, v. 18, n. 2, p. 111-117, 1985.

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

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P. de. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

REIS, C.; ANDRADE, J. C. Planejamento experimental para misturas usando cromatografia em papel. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 313-319, 1996.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R. Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente alimentar. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 190-199, 2009.

STATISTIC FOR WINDOWS, versão 5.0. Copyright® StatSoft, Inc. Tulsa, USA, 1995.

Embrapa

Amazônia Oriental

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 10186