

OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS TECNOLÓGICOS PARA PRODUÇÃO DE SNACK EXTRUDADO A PARTIR DE ARROZ E FEIJÃO

Ana Vânia CARVALHO*
Alessandro de Oliveira RIOS**
Priscila Zaczuk BASSINELLO***
Lara Lima SECCADIO****

■ **RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo investigar os parâmetros relevantes para elaboração de *snacks* extrudados a partir de farinha mista de arroz e feijão e avaliar a influência das formulações e condições do processamento nas características do produto final. Para a elaboração dos *snacks* utilizou-se um delineamento composto rotacional fatorial completo, com pontos centrais e axiais, testando-se os parâmetros porcentagem de farinha de feijão, umidade de condicionamento e temperatura de processamento, tendo como respostas teor de proteína, densidade aparente e índice de expansão. Os ensaios foram processados em extrusor mono-roscas, com velocidade da rosca de 177 rpm e matriz circular de 3,85mm. A temperatura variou somente na 3ª zona do extrusor, conforme o planejamento experimental, permanecendo fixa na zona 1 (30°C) e na zona 2 (40°C). A otimização do processo de extrusão para a produção do *snack* de arroz e feijão foi realizada por meio da análise de regressão e indicou como as melhores condições de processamento o emprego de 30% de farinha de feijão, 14% de umidade de condicionamento da matéria-prima e temperatura na 3ª zona do extrusor de 80°C.

■ **PALAVRAS-CHAVE:** *Phaseolus vulgaris*; *Oryza sativa*; extrusão termoplástica; processamento.

INTRODUÇÃO

As fontes de proteína de origem vegetal têm sido amplamente utilizadas para a alimentação humana, em razão do baixo custo e do menor teor de gordura, quando comparados aos alimentos de origem animal. Dentre tais fontes proteicas pode-se destacar o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), que embora apresente cerca da metade do teor de proteína bruta (18 a 30%) em relação à soja, possui maior digestibilidade *in vitro* (78,7%), quando comparado à mesma (59,14 a 65,27%).^{15, 21, 26}

Por sua vez, o arroz é uma excelente fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também proteínas, vitaminas e minerais, além de possuir baixo teor de lipídios.¹⁹ Sua proteína contém oito dos nove aminoácidos essenciais ao homem, contudo em quantidades insuficientes de lisina, e encontra-se dispersa no endosperma e farelo do grão, apresentando digestibilidade média de 66%.^{1, 7}

No Brasil, o feijão e o arroz são a base alimentar da população, e, segundo os trabalhos desenvolvidos por Schieri²⁹ e Schieri et al.,³⁰ o consumo concomitante destes alimentos, além de melhorar o valor biológico das proteínas, pode ter efeito protetor contra o sobrepeso e a obesidade. Segundo os autores é possível identificar um padrão de consumo tradicional no Brasil, destacando-se o consumo de arroz e feijão, que é em grande parte determinado pelas condições sócio-econômicas, e que independente delas, mostra-se como fator de proteção para sobrepeso.

Ambos tornam-se complementares na dieta em relação aos aminoácidos, uma vez que o feijão supre a carência de lisina do arroz e este por sua vez a ausência de metionina do feijão, gerando uma mistura com digestibilidade de cerca de 80%.³⁴

Além disso, durante as etapas de beneficiamento do arroz são obtidos aproximadamente 14% de grãos quebrados, gerando um subproduto denominado quirera, o que representa um problema econômico para a indústria arroseira, pois apenas 10% podem ser adicionados ao produto final.¹³ Consequentemente, o aproveitamento desse subproduto de menor valor comercial, pode tornar-se viável, uma vez que sua constituição nutricional é basicamente a mesma dos grãos inteiros. Durante o beneficiamento do feijão, existe também a geração de um subproduto constituído pelos grãos quebrados, normalmente de cozimento difícil, denominado “bandinhas de feijão”. Este subproduto possui propriedades funcionais e nutricionais semelhantes às do feijão, com alto potencial para uso na indústria alimentícia,

* Embrapa Amazônia Oriental – 66095-100 – Belém – PA – Brasil. E-mail: ana.vania.carvalho@embrapa.br.

** Departamento de Ciência dos Alimentos – Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 91501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil.

*** Embrapa Arroz e Feijão – 74425-250 – Santo Antônio de Goiás – GO – Brasil.

**** Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Federal do Pará – 66075-110 – Belém – PA – Brasil.

podendo ser empregado na elaboração de farinhas para a obtenção de diversos produtos, embora no Brasil ainda seja pouco aproveitado.²³

Assim, uma opção para a utilização de tais subprodutos, com a finalidade de ampliar a variedade de alimentos que compõem a dieta, elaborando produtos com distintas texturas e cores, a partir de ingredientes básicos, é o emprego do processo de extrusão. A extrusão é um processo que combina diversas operações unitárias como cocção, homogeneização e modelagem.¹⁷

O controle das condições de extrusão, tais como temperatura, taxa de compressão da rosca, taxa de alimentação, teor de umidade e componentes de alimentação, é essencial para garantir a qualidade do produto e evitar perdas de nutrientes.¹⁰

Pesquisas têm mostrado que a extrusão termoplástica inativa os fatores antinutricionais presentes no feijão, tais como inibidores de proteases, taninos e fitatos,^{2,31} além de ser considerada efetiva para aumentar a digestibilidade das proteínas e do amido.⁸

No desenvolvimento de produtos extrudados expandidos, como os *snacks*, parâmetros de qualidade desejados são os elevados índices de expansão, baixa densidade, elevado volume específico, cor clara e elevada crocância.^{18, 22} O desenvolvimento de novos produtos, além de considerações técnicas, legais e mercadológicas, requer também processos de otimização que possam buscar melhores condições de processamento e formulação, com alta qualidade e baixo custo.¹⁴

Devido ao grande número de variáveis que intervêm na extrusão-cocção de alimentos e aos complexos fenômenos que ocorrem durante o processo, tem-se recomendado a utilização da técnica estatística de Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) para estudar a relação existente entre as condições de processo e as características finais do produto.¹⁹

A MSR é geralmente aplicada em experimentos industriais para encontrar condições ótimas para fatores de delineamento e pode ser aplicada a qualquer número de parâmetros para modelar simultaneamente várias respostas. É atualmente, o mais popular conjunto de técnicas para otimização, sendo composta das etapas de modelagem e deslocamento. A primeira ajusta modelos lineares ou quadráticos aos resultados experimentais obtidos de planejamentos experimentais. A segunda busca o caminho de máxima inclinação de um determinado modelo, que é o caminho onde a resposta varia de forma mais pronunciada.⁶

O objetivo deste trabalho foi estudar o processamento por extrusão termoplástica de *snacks* à base de quirera de

arroz e bandinha de feijão, avaliando-se o efeito da combinação da umidade da matéria-prima, temperatura de extrusão e quantidade de bandinha de feijão adicionada, sobre as propriedades tecnológicas e teor protéico do produto final.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção das Farinhas de Arroz e Feijão

A quirera de arroz e a bandinha de feijão tipo carioca utilizadas no processamento dos *snacks* foram adquiridas no comércio local de Goiânia, GO. Tais matérias-primas foram trituradas em moinho de facas tipo Willye, marca Tecnal, modelo TE-650 (Piracicaba, SP), até tamanho de partículas entre 2,19 e 0,84 mm. A granulometria dos materiais triturados foi determinada pela passagem de 200g 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 e no fundo foram pesadas e calculadas as respectivas porcentagens. As farinhas obtidas foram embaladas separadamente em sacos de polietileno e armazenadas em local fresco e ao abrigo de luz até o momento do processamento dos *snacks*.

Planejamento Experimental

Os *snacks* de arroz e feijão foram processados testando-se diferentes combinações de mistura de farinha de feijão e farinha de arroz (X_1), temperatura na 3ª zona de extrusão (X_2) e umidade da farinha mista de arroz e feijão (X_3), otimizadas por meio de delineamento composto rotacional fatorial completo,²⁶ tendo como respostas: teor de proteína (Y_1), densidade aparente (Y_2) e índice de expansão radial (Y_3). Os níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental foram definidos em função de testes preliminares realizados e são apresentados na Tabela 1.

Os ensaios foram processados em extrusor monorosca (Labor PQ30 - INBRAMAQ, Indústria de Máquinas Ltda., Ribeirão Preto, São Paulo), de configuração e parafuso intercambiáveis, com controle de temperatura nas diferentes zonas de aquecimento e velocidade do parafuso regulável. As temperaturas na 1ª e 2ª zonas do extrusor foram mantidas constantes (Zona 1 = 40°C; Zona 2 = 6°C), velocidade do parafuso de 177 rpm, taxa de alimentação de 257 g.min⁻¹ e matriz circular de 3,85 mm. Os ensaios processados foram coletados manualmente e a seguir armazenados em sacos de polietileno até o momento das análises.

Tabela 1 – Níveis reais e codificados das variáveis estudadas no planejamento experimental.

| Variáveis independentes | Níveis reais | | | | |
|---|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Farinha de Feijão: Farinha de arroz (%) | 13:87 | 20:80 | 30:70 | 40:60 | 47:53 |
| Temperatura (°C) | 60 | 70 | 85 | 100 | 110 |
| Umidade (%) | 10 | 12 | 15 | 18 | 20 |
| Níveis codificados | -1,68 | -1 | 0 | +1 | +1,68 |

Todas as respostas do planejamento experimental foram analisadas de acordo com Barros Neto et al.⁵ com o auxílio do software *Statistica*® versão 7.0.³² O teor de proteínas dos *snacks* foi determinado de acordo com método proposto pela AOAC,⁴ a densidade aparente de acordo com Ramírez & Wanderlei²⁷ e o índice de expansão radial segundo Alvarez-Martinez et al.³

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Granulométrica das Farinhas de Arroz e Feijão

O tamanho de partículas das matérias-primas pode afetar notavelmente a textura e a uniformidade do produto final. É desejável que as partículas tenham tamanho e densidade uniformes, para prevenir a segregação durante a mistura e o transporte antes do processo de extrusão.¹¹

Os resultados observados para a granulometria das farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão, uti-

lizadas na formulação dos *snacks*, estão apresentados na Tabela 2.

Observou-se que a farinha de quirera de arroz e farinha de bandinha de feijão ficaram retidas, com quantidade de partículas de 61,58% e 84,23% respectivamente, entre as peneiras de 2,19 e 0,84 mm, evidenciando que as matérias-primas apresentavam partículas com dimensões relativamente homogêneas, estando em acordo com os resultados encontrados por Carvalho et al.¹⁰ que observaram cerca de 88% de partículas da farinha de mandioca e 72% de partículas da farinha de pupunha retidas entre as peneiras de 2,19 e 0,84 mm.

Otimização do Processo de Extrusão de *Snacks* de Arroz e Feijão

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de teor de proteína, densidade aparente e índice de expansão obtidos dos experimentos com *snacks* de arroz e feijão, de acordo com a matriz do planejamento experimental. Vale salientar que, embora as variáveis independentes utilizadas no traba-

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 |

Tabela 3 – Resultados dos experimentos do delineamento composto rotacional fatorial completo para as variáveis proteína, densidade aparente (DA) e índice de expansão (IE) para *snacks* de farinha de arroz e feijão.

| Ensaio | Níveis das variáveis em unidades reais | | | | | |
|--------|--|------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|-------|
| | Farinha de Feijão: Farinha de arroz (%) | Temperatura (°C) | Umidade da farinha mista (%) | Proteína (%) | DA (g cm ⁻³) | IE |
| 1 | 20:80 | 70 | 12 | 11,90 | 0,10 | 14,83 |
| 2 | 40:60 | 70 | 12 | 13,19 | 0,13 | 6,83 |
| 3 | 20:80 | 100 | 12 | 11,19 | 0,11 | 13,76 |
| 4 | 40:60 | 100 | 12 | 14,93 | 0,14 | 5,35 |
| 5 | 20:80 | 70 | 18 | 11,68 | 0,22 | 9,52 |
| 6 | 40:60 | 70 | 18 | 14,51 | 0,23 | 7,57 |
| 7 | 20:80 | 100 | 18 | 11,43 | 0,13 | 10,90 |
| 8 | 40:60 | 100 | 18 | 14,24 | 0,12 | 7,87 |
| 9 | 13:87 | 85 | 15 | 10,26 | 0,11 | 13,91 |
| 10 | 47:53 | 85 | 15 | 14,93 | 0,14 | 8,09 |
| 11 | 30:70 | 60 | 15 | 12,87 | 0,17 | 12,47 |
| 12 | 30:70 | 110 | 15 | 12,17 | 0,10 | 12,98 |
| 13 | 30:70 | 85 | 10 | 12,89 | 0,11 | 6,72 |
| 14 | 30:70 | 85 | 20 | 12,06 | 0,20 | 7,88 |
| 15 | 30:70 | 85 | 15 | 13,00 | 0,14 | 10,24 |
| 16 | 30:70 | 85 | 15 | 12,87 | 0,14 | 8,20 |
| 17 | 30:70 | 85 | 15 | 12,87 | 0,14 | 8,67 |
| 18 | 30:70 | 85 | 15 | 12,04 | 0,15 | 9,79 |
| 19 | 30:70 | 85 | 15 | 12,19 | 0,13 | 9,26 |
| 20 | 30:70 | 85 | 15 | 12,78 | 0,14 | 8,65 |

Os resultados são médias de 3 replicatas.

lho sejam qualitativas, optou-se por utilizar o delineamento composto rotacional e assim tais variáveis foram tratadas como quantitativas, o que pode gerar algumas limitações de interpretação em função do delineamento realizado.

A análise e a estimativa dos efeitos das variáveis são discutidos nos tópicos a seguir.

Teor de proteína

Para os diferentes ensaios realizados, os extrudados apresentaram valores para o teor de proteínas entre 10,26 e 14,93%, 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 (40%), baixo teor de umidade da farinha mista (12%) e alta temperatura de processo (100°C). Por outro lado, o ensaio com menor teor de proteína foi o Ensaio 9, processado em condições intermediárias do planejamento com relação ao valor de umidade (15%) e temperatura (85°C), mas com a condição mais baixa para o teor de farinha de feijão (13%). Este comportamento é coerente, pois a farinha de feijão é o constituinte responsável direto pelo aumento no teor de proteínas no produto final, visto que apresenta cerca de 20% de proteínas, ³³ sendo o ensaio com menor teor de proteína justamente aquele em que se empregou a quantidade de farinha de feijão no nível mais baixo.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos efeitos dos fatores na resposta para a variável proteína.

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. O efeito foi positivo, ou seja, aumentando-se o teor de

farinha de feijão no produto final aumenta-se também o seu teor protéico.

De acordo com a análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para a resposta teor de proteínas, o coeficiente de variação (R^2) foi igual a 0,87, indicando que ele explica 87% da variação nos dados observados. Já o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi 28,74 vezes maior que o F_{tabelado} para a regressão a 5% de significância. Sendo assim, além do modelo ser significativo, ele também é preditivo. O modelo de regressão ainda obteve falta de ajuste ideal, ou seja, não significativa ($F_{\text{tabelado}} > F_{\text{calculado}}$).

A partir do modelo obtido foi possível construir a superfície de contorno, que expressa graficamente os resultados obtidos pela análise de regressão, para o teor de proteína, apresentada na Figura 1.

De acordo com os dados da Figura 1 pode-se confirmar que o teor de proteína é proporcional ao aumento do teor de farinha de feijão, sendo a mesma, a variável de influência significativa na resposta.

Densidade aparente

Como podem ser observados na Tabela 3 para os diferentes ensaios realizados, os extrudados apresentaram valores para densidade aparente entre 0,10 e 0,23, como valores, mínimo e máximo, respectivamente.

O ensaio com maior valor de densidade aparente foi o Ensaio 6, com alto teor de farinha de feijão (40%), baixo valor de umidade da farinha mista de arroz e feijão (12%) e alta temperatura de processo (100°C). Por outro lado, os ensaios 1 e 12 foram os que apresentaram as menores densidades aparentes, os quais foram processados em condições distintas em todos os parâmetros. No Ensaio 1 empregou-se baixo teor de farinha de feijão (20%), baixa

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

| Variáveis independentes | Efeitos estimados | Erro Puro | t-valor | p-valor |
|---------------------------------|-------------------|---------------|----------------|---------------|
| Interceptação | 12,6126 | 0,1643 | 76,7579 | 0,0000 |
| Farinha de feijão (L) | 2,7160 | 0,2182 | 12,4501 | 0,0001 |
| Farinha de feijão (Q) | 0,1330 | 0,2126 | 0,6255 | 0,5591 |
| Temperatura (L) | -0,0961 | 0,2182 | -0,4406 | 0,6779 |
| Temperatura (Q) | 0,0791 | 0,2126 | 0,3722 | 0,7250 |
| Umidade (L) | 0,1091 | 0,2182 | 0,4999 | 0,6383 |
| Umidade (Q) | 0,0465 | 0,2126 | 0,2186 | 0,8356 |
| Farinha de feijão - Temperatura | 0,6063 | 0,2849 | 2,1281 | 0,0866 |
| Farinha de feijão - Umidade | 0,1536 | 0,2849 | 0,5391 | 0,6129 |
| Umidade - Temperatura | -0,3884 | 0,2849 | -1,3633 | 0,2310 |

$$F_{1,18(\text{calculado})} = 117,85 > F_{1,18(\text{tabelado})} = 4,41 \quad (p \leq 0,05); \quad R^2 = 0,87$$

$$\text{Equação do Modelo} = y = 12,71 + 1,36x_1, \text{ onde: } y = \% \text{ proteína; } x_1 = \text{farinha de feijão}$$

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.

Na tabela a linha em negrito representa o efeito significativo.

temperatura de processo (70°C) e baixo valor de umidade (12%); por sua vez no Ensaio 12 utilizou-se teor de farinha de feijão intermediário (30%), elevada temperatura de processo (110°C) e umidade intermediária (15%).

Por meio dos resultados obtidos (Tabela 3) foi possível determinar os efeitos das variáveis independentes sobre a resposta densidade aparente, onde se pode observar que os parâmetros que tiveram efeito estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$) foram: porcentagem de farinha de feijão

linear, temperatura linear, umidade linear e quadrática, interação farinha de feijão x umidade e interação temperatura x umidade (Tabela 5).

As variáveis independentes farinha de feijão, umidade linear e umidade quadrática apresentaram efeitos positivos sobre a densidade aparente, indicando que um aumento em qualquer um destes fatores contribui para a elevação na densidade aparente do extrudado. Já a temperatura linear, a interação farinha de feijão x umidade linear

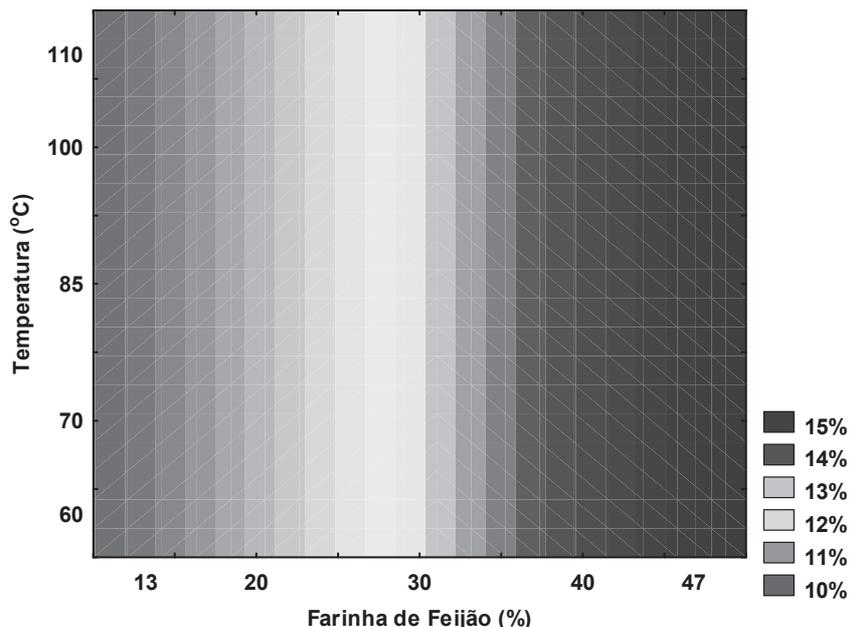


FIGURA 1 – Superfície de contorno para a variável proteína (%) em função da temperatura (°C) e farinha de feijão (%).

Tabela 5 – Efeitos estimados pelo modelo de regressão para a variável densidade aparente.

| Variáveis independentes | Efeitos estimados | Erro Puro | t-valor | p-valor |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------|
| Interceptação | 0,1418 | 0,0025 | 55,8562 | 0,0000 |
| Farinha de feijão (L) | 0,0180 | 0,0034 | 5,3401 | 0,0031 |
| Farinha de feijão (Q) | -0,0070 | 0,0033 | -2,1259 | 0,0869 |
| Temperatura (L) | -0,0415 | 0,0034 | -12,3259 | 0,0001 |
| Temperatura (Q) | -0,0012 | 0,0032 | -0,3517 | 0,7356 |
| Umidade (L) | 0,0574 | 0,0034 | 17,0173 | 0,0000 |
| Umidade (Q) | 0,0128 | 0,0033 | 3,9031 | 0,0114 |
| Farinha de feijão - Temperatura | -0,0041 | 0,0044 | -0,9257 | 0,3971 |
| Farinha de feijão - Umidade | -0,0139 | 0,0044 | -3,1519 | 0,0253 |
| Umidade - Temperatura | -0,0537 | 0,0044 | -12,1929 | 0,0001 |

$F_{6,13}(\text{calculado}) = 66,31 > F_{6,13}(\text{tabelado}) = 2,92$ ($p \leq 0,05$); $R^2 = 0,97$

Equação do Modelo = $y = 0,14 + 0,01x_1 - 0,02x_2 + 0,03x_3 + 0,01x_3^2 - 0,01x_1 \cdot x_3 - 0,03x_2 \cdot x_3$, onde: $y = DA$; $x_1 =$ farinha de feijão; $x_2 =$ temperatura; $x_3 =$ umidade

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.

Na tabela a linha em negrito representa o efeito significativo.

e a interação temperatura x umidade linear apresentaram efeitos negativos, ou seja, a elevação destes fatores indica uma diminuição no valor da densidade aparente.

Observando os resultados percebe-se que os fatores foram significativos na resposta, com, no mínimo, 97% de confiança. A relação $F_{\text{Calculado}}/F_{\text{Tabelado}}$ para a regressão apresentou valor de 22,70. A falta de ajuste do modelo foi baixa, com $F_{\text{Calculado}}$ de 2,01 inferior ao valor de F_{Tabelado} (4,82), sinalizando assim um modelo válido e útil para fins preditivos.

A partir do modelo obtido para densidade aparente, foi possível construir as superfícies de contorno apresentadas nas Figuras 2 e 3, as quais permitem visualizar as melhores condições para as variáveis independentes utilizadas neste trabalho.

Na Figura 2 ilustram-se os efeitos farinha de feijão e temperatura, onde se observa que a temperatura é a variável que possui maior influência sobre a variação da densidade aparente. Logo, mantendo-se a farinha de feijão constante, em qualquer ponto da temperatura, pode-se obter um valor

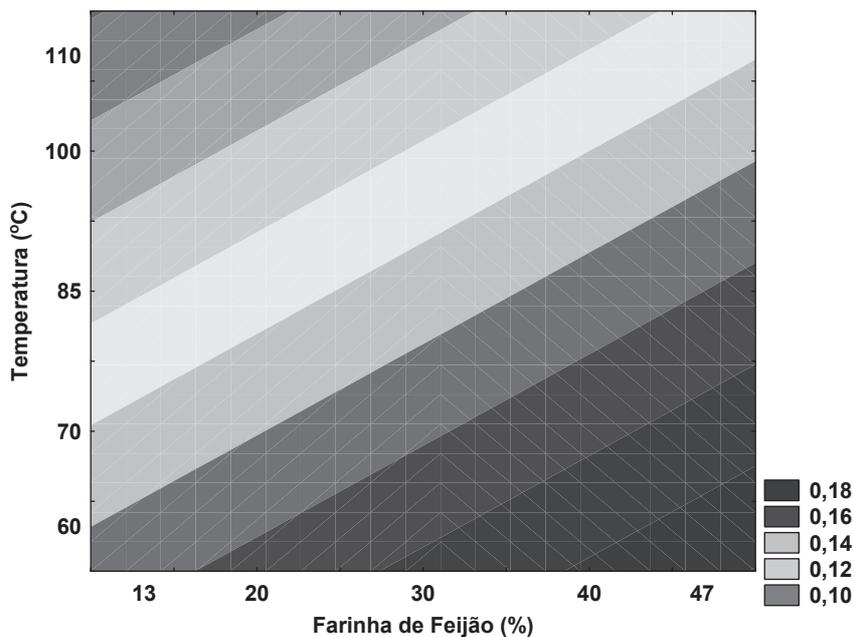


FIGURA 2 – Superfície de contorno para a variável densidade aparente em função da temperatura (°C) e farinha de feijão (%).

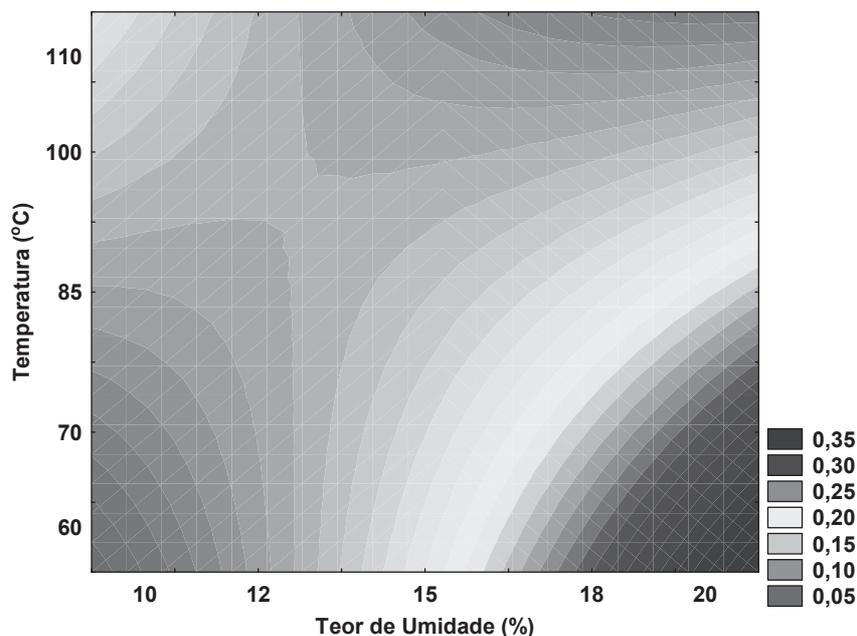


FIGURA 3 – Superfície de contorno para a variável densidade aparente em função da temperatura (°C) e teor de umidade (%).

diferente de densidade aparente. Verifica-se também que a temperatura mantém uma relação inversamente proporcional à densidade aparente, ou seja, quanto maior a temperatura, menor a densidade aparente.

Estes resultados estão de acordo com Thymi et al.^{16,35} que estudaram as propriedades estruturais do amido de milho extrudado em relação à temperatura. Os autores observaram que temperaturas acima de 150 °C resultaram em redução significativa da densidade aparente dos extrudados e conseqüentemente maiores valores de expansão foram obtidos. Ainda com relação à Figura 2, para menores teores de farinha de feijão e temperaturas elevadas, tem-se o menor valor de densidade aparente, fato desejável para a qualidade final do produto em estudo.

Com relação à Figura 3, nota-se que valores máximos de umidade e mínimos de temperatura levam a maiores índices de densidade aparente. A utilização de altas temperaturas, aliadas a baixas umidades das matérias-primas, provocam maior grau de cocção e conseqüentemente expansão do produto final.

De acordo com Borba et al.⁹ a água tem efeito inverso sobre a expansão, agindo como plasticizante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade, a gelatinização do amido, assim como a dissipação da energia mecânica no extrusor, fazendo com que o produto final fique mais denso e o crescimento de bolhas torne-se reduzido. O aumento da quantidade de água durante a extrusão pode mudar a estrutura molecular do material, reduzindo a viscosidade elástica e, assim, a expansão. Porém, vale salientar que umidades de processamento muito baixas também prejudicam a expansão dos produtos, podendo dar origem a produtos com formação irregular de bolhas e conseqüentemente mais densos. Por outro lado, segundo Ding et al.¹⁶

é esperado que um aumento na temperatura reduza a viscosidade do material fundido, o que favorece o crescimento das bolhas e produz *snacks* de baixa densidade, com células finas e grandes e com maior crocância. Esse fato foi observado no presente estudo onde o emprego de temperaturas mais elevadas, porém não extremas, favoreceu a obtenção de produtos com boa expansão e com menor densidade aparente.

Índice de Expansão

Observa-se na Tabela 3, para os diferentes ensaios realizados, que os *snacks* extrudados apresentaram, para o índice de expansão, o valor mínimo de 5,35 e máximo de 14,83. O ensaio com maior valor de índice de expansão foi o Ensaio 1, com baixo teor de farinha de feijão (20%), baixo valor de umidade da farinha mista de arroz e feijão (12%) e baixa temperatura de processo (70°C). Por outro lado, o ensaio com menor índice de expansão foi o Ensaio 4, onde empregou-se alto teor de farinha de feijão (40%), alta temperatura de processo (100°C) e baixo valor de umidade para a farinha mista de arroz e feijão (12%).

A análise estatística dos dados indicou efeito significativo para porcentagem de farinha de feijão linear, temperatura quadrática, umidade quadrática e a interação farinha de feijão x umidade linear. As variáveis independentes temperatura quadrática e a interação farinha de feijão e umidade linear apresentaram efeitos positivos sobre o índice de expansão, indicando que um aumento nessas variáveis contribui para a elevação na densidade aparente do *snack* extrudado. Por sua vez, para o teor de farinha de feijão linear e a umidade quadrática, a elevação destes fatores indica um efeito negativo, ou seja, uma diminuição do índice de expansão.

Tabela 6 – Efeitos estimados pelo modelo de regressão para a variável índice de expansão.

| Variáveis independentes | Efeitos estimados | Erro Puro | t-valor | p-valor |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------|
| Interceptação | 9,1630 | 0,3157 | 29,0236 | 0,0000 |
| Farinha de feijão (L) | 4,5673 | 0,4191 | -10,8967 | 0,0001 |
| Farinha de feijão (Q) | 0,9672 | 0,4085 | 2,3678 | 0,0641 |
| Temperatura (L) | 0,0004 | 0,4191 | 0,0011 | 0,9992 |
| Temperatura (Q) | 2,1916 | 0,4085 | 5,3650 | 0,0030 |
| Umidade (L) | -0,4363 | 0,4191 | -1,0410 | 0,3456 |
| Umidade (Q) | -1,6565 | 0,4085 | -4,0550 | 0,0098 |
| Farinha de feijão - Temperatura | -0,3726 | 0,5474 | -0,6806 | 0,5263 |
| Farinha de feijão - Umidade | 2,8583 | 0,5474 | 5,2216 | 0,0034 |
| Umidade - Temperatura | 1,0614 | 0,5474 | 1,9390 | 0,1102 |

$$F_{7,12}(\text{calculado}) = 23,73 > F_{7,12}(\text{tabelado}) = 2,91 (p \leq 0,05); R^2 = 0,87$$

$$\text{Equação do Modelo} = y = 9,55 - 2,28x_1 + 1,05x_2^2 - 0,88x_3^2 + 1,43x_1x_3, \text{ onde: } y = \text{IE}; x_1 = \text{farinha de feijão}; x_2 = \text{temperatura}; x_3 = \text{umidade}$$

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.

Na tabela a linha em negrito representa o efeito significativo.

Observou-se que 87% da variabilidade na resposta do índice de expansão podem ser explicadas pelo modelo ($R^2=0,87$). O valor de $F_{\text{tabelado}}(4;15;95)$ para a regressão foi igual a 3,06, sendo superior ao valor de $F_{\text{calculado}}$ e também falta de ajuste do modelo não foi significativa, o que ratifica a hipótese que o modelo gerado pode ser utilizado para descrever a variação do índice de expansão do produto em função das variáveis estudadas.

O gráfico de superfície de contorno é apresentado na Figura 4.

O teor de farinha de feijão foi inversamente proporcional ao índice de expansão e valores mínimos e máximos para temperatura resultam em valores máximos de índice de expansão (Figura 4). Nota-se também que, entre

13 e 20% de farinha de feijão, apenas a variação de temperatura possui maior influência no índice de expansão, e, relacionando-se o ponto central de temperatura com os valores máximos de farinha de feijão tem-se o menor índice de expansão.

Para valores de umidade entre 12 e 18%, combinados com faixas de temperaturas mínimas, 60 a 63°C, e máximas, 107 a 110°C, tem-se valores máximos para o índice de expansão (Figura 5). Lutosa et al.²⁴ relataram, para produção de *snacks* de farinha de mandioca enriquecidos com caseína, um ponto mínimo para o índice de expansão, nas condições intermediárias de temperatura (90 a 120°C) e umidade (19 a 22%).

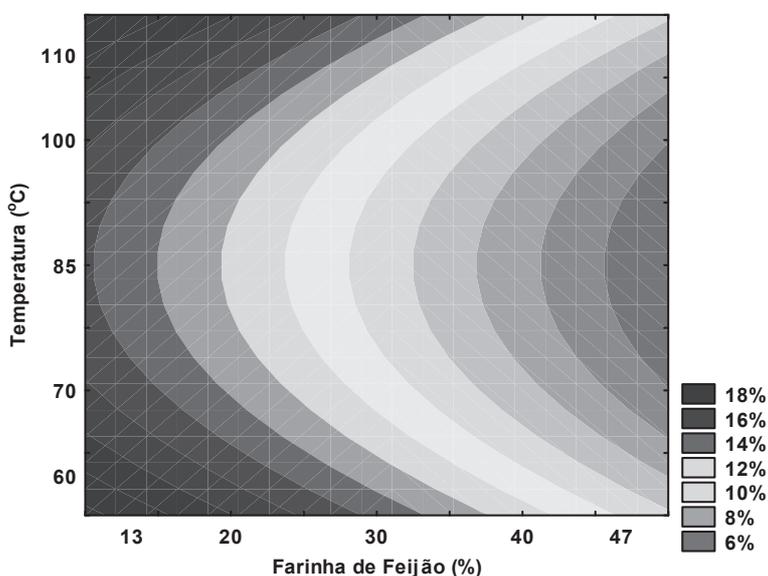


FIGURA 4 – Superfície de resposta para a variável índice de expansão em função da temperatura (°C) e farinha de feijão (%).

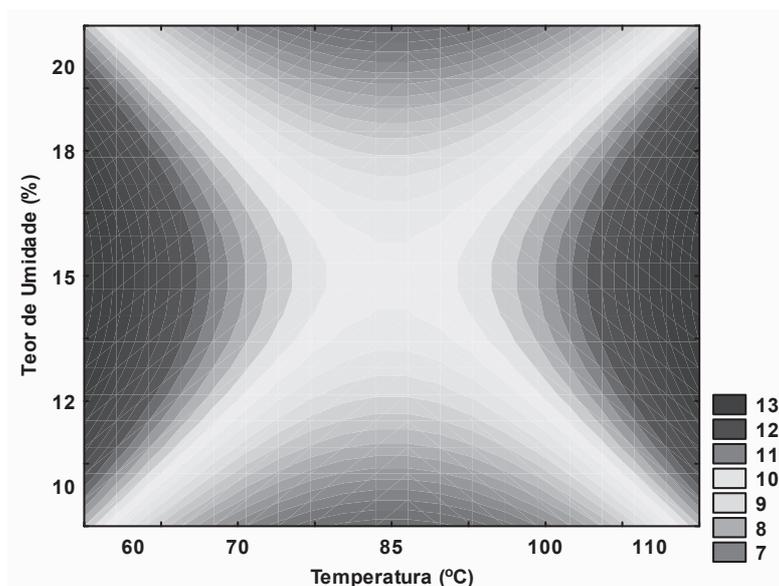


FIGURA 5 – Superfície de resposta para a variável índice de expansão em função da umidade (%) e temperatura (°C).

De acordo com Borba et al.⁹ a água tem efeito inverso sobre a expansão, agindo como plastificante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade, a gelatinização do amido, assim como a dissipação da energia mecânica no extrusor, fazendo com que o produto fique mais denso e o crescimento de bolhas torne-se reduzido. O aumento da quantidade de água durante a extrusão pode mudar a estrutura molecular do material, reduzindo a viscosidade elástica e, assim, a expansão. É esperado que um aumento na temperatura reduza a viscosidade do material fundido, o que favorece o crescimento das bolhas e produz *snacks* de baixa densidade, com células finas e grandes e com maior crocância.¹⁶

Mercier et al.²⁵ relataram que a expansão aumenta com a elevação da temperatura, devido a menor viscosidade, permitindo expandir mais rápido a massa fundida. Em 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 do amido.

CONCLUSÃO

É possível a elaboração de *snacks* a partir de farinhas de quireira de arroz e bandinha de feijão, subprodutos de baixo valor comercial provenientes das indústrias beneficiadoras de arroz e feijão, utilizando o processo de extrusão termoplástica.

A farinha de feijão favorece a obtenção de produtos com maior teor protéico, porém afeta negativamente a expansão do produto, bem como favorece a obtenção de produtos mais densos.

A otimização do processo de extrusão para a produção do *snack* de arroz e feijão indicou como as melhores condições de processamento o emprego de 30% de farinha de feijão, 14% de umidade de condicionamento da farinha mista de arroz e feijão e temperatura na 3ª zona do extrusor de 80°C.

CARVALHO, A. V.; RIOS, A. O.; BASSINELLO, P. Z.; SECCADIO, L. L. Optimization of technological parameters for production of extruded snack from rice and beans. *Alim. Nutr.*, Araraquara, v. 23, n. 3, p. 443-452, jul./set. 2012.

■**ABSTRACT:** The aim of this work was to investigate the relevant parameters to elaborate extruded snacks from rice and bean mixed flour and to evaluate the influence of formulations and processing conditions on the final product characteristics. For snack preparation it was used a complete experimental design 2³, with axial and central points, by testing parameters such as bean flour percentage, moisture

conditioning and processing temperature, and having the protein content, apparent density and expansion index as responses. The trials were processed in mono-screw extruder, with screw speed of 177 rpm and circular matrix of 3,85mm. The temperature varied only at the 3rd extruder zone, according to experimental design, keeping permanent at the 1st (30°C) and 2nd (40°C) zones. The optimization of the extrusion process for rice and bean snack production was performed based on regression analysis and it indicated that the combination of 30% bean flour, 14% crude matter conditioning moisture and 3rd zone temperature set at 80°C as the best processing conditions.

■**KEYWORDS:** *Phaseolus vulgaris*; *Oryza sativa*; thermoplastic extrusion; processing.

REFERÊNCIAS

1. AARATHI, A.; UROOJ, A.; PUTTARAJ, S. In vitro starch digestibility and nutritionally important starch fractions in cereals and their mixtures. *Starch/Stärke*, v. 55, p. 94-99, 2003.
2. ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effect of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chem.*, v. 68, p. 159-195, 2000.
3. ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDRY, K. P.; HARPER, J. M. A general-model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.*, v. 53, p. 609-615, 1988.
4. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis*. 16thed. Washington, DC, 1997. methods.
5. BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Planejamento e otimização de experimentos*. 2. ed. Campinas, Ed. UNICAMP. 1995. 299 p.
6. BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. 2. ed. Campinas: Ed. UNICAMP, 2003. 401p.
7. BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, E. M. Arroz como alimento. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 101-108, 2004.
8. BERRIOS, J. J. Extrusion cooking of legumes: dry bean flours. *Enc. Agric. Food Biol. Eng.*, v. 1, p. 1-8, 2006.
9. BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. *Ciênc. Tecnol. Alim.*, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835-843, 2005.
10. 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. *Ciênc. Agrotecnol.*, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

11. CARVALHO, A. V. et al. Produção de *snacks* de terceira geração por extrusão de misturas de farinhas de pupunha e mandioca. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 12, n. 4, p. 277-284, 2009.
12. CARVALHO, A. V. et al. Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Ciênc. Agrotecnol.**, v. 34, n. 4, p. 995-1003, 2010.
13. CASTRO, E. M. et al. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p.
14. CASTRO, I. A. et al. Simultaneous optimization of response variables in protein mixtures formulation: constrained simplex method approach, **Int. J. Food Sci. Technol.**, Oxford, v. 38, p. 103-110, 2003.
15. DALLA CORTE, A. et al. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.**, Londrina, v. 3, n. 3, p. 193-202, Sept. 2003.
16. DING, Q. et al. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice base expanded snacks. **J. Food Eng.**, v. 66, p. 283-289, 2005.
17. FELLOWS, P. J. **Food processing technology: principles and practice**. 2nd ed. Cambridge: Midway Technology, 2000. 608p.
18. FERREIRA, R. E. **Avaliação de parâmetros do processo de extrusão e do teor de farelo de trigo adicionado em características de "snacks" expandidos de milho**. 2006. 162f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
19. GONZÁLES, J. R.; GREEF, D. M.; GORDO, N. A. Aplicación del método de la superficie de respuesta al estudio de la extrusión-cocción de sêmola de maiz. **Rev. Agroquím. Tecnol. Alim.**, Valencia, v. 27, n. 2, p. 251-260, 1987.
20. KENNEDY, G.; BURLINGAME, B.; NGUYEN, N. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **Int. Rice Comm. Newslett.**, v. 51, p. 33-42, 2002.
21. LEMOS, L. B. et al. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial carioca. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 319-326, fev. 2004.
22. LEONEL, M.; SOUZA, L. B.; MISCHAN. Production of extruded snacks from cassava starch orange fiber. **Ciênc. Rural**, v. 40, n. 6, p. 1411-1417, jun. 2010.
23. LOPES, L. C. M. **Determinação das melhores condições de extrusão e caracterização de farinha de feijão para utilização como ingrediente de alimentos instantâneos**. 2010. 90f. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
24. LUTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Parâmetros de extrusão na produção de *snacks* de farinha de mandioca enriquecidos com caseína. **Ciênc. Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 109-126, jan.-mar. 2010.
25. MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. 2nd ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 199 p.
26. PIRES, C. V. et al. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciênc. Tecnol. Alim.**, v. 26, p. 179-187, 2006.
27. RAMIREZ, J. L. A.; WANDERLEI, C. P. Effect of los parametros de extrusion, características de pasta y textura de pellets (snacks de terceira generacion) producidos a partir de trigo y maiz. **Alimentaria**, Madrid, v. 279, n. 1, p. 93-98, 1997.
28. SAS® Institute Inc. **SAS user guide for windows**. Carry, 1999. versão 8.0.
29. SCHIERI, R. Dietary patterns and their associations with obesity in the Brazilian city of Rio de Janeiro. **Obes. Res.**, v. 10, p. 42-49, 2002.
30. SCHIERI, R.; CASTRO, J. F. G.; MOURA, A. S. Fatores associados ao padrão de consumo alimentar da população brasileira urbana. **Cad. Saúde Pública**, v. 19, suppl. 1, p. 547-553, 2003.
31. SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. Effect of processing on antinutrients and in vitro digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) varieties grown in East Africa. **Food Chem.**, v. 103, p. 161-172, 2007.
32. STATSOFT INC. **Statistic for windows**. Tulsa, 1995. version 5.0.
33. TACO. UNICAMP. NEPA **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 2.ed. Campinas, SP, 2006. 113p. versão 2. Disponível em: www.unicamp.br/nepa/taco/. Acesso em: 20 out. 2010.
34. TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. **Alim. Nutr.**, Araraquara. v. 20, n. 3, p. 411-426, 2009.
35. THYMI, S. et al. Structural properties of extruded corn starch. **J. Food Eng.**, v. 68, p. 519-526, 2005.

Recebido em: 22/07/2011

Aprovado em: 05/07/2012