

CARACTERÍSTICAS DE EXPANSIBILIDADE, DENSIDADE E AMIDOS RESISTENTES EM BISCOITOS EXTRUDADOS A PARTIR DE MISTURAS DE FARINHA E FÉCULA DE MANDIOCA.

Starch resistance, expansion, and density in extruded mixed cassava flour and starch products

Cláudio CABELLO¹

Mariana C. SCHMIDT²

RESUMO

O processo de extrusão de amidos para produção de alimentos expandidos provoca modificações físico-químicas nas matérias-primas utilizadas, que podem favorecer a sua digestibilidade. Misturas de fécula e farinha de mandioca, em diferentes proporções e umidades, foram utilizadas em processo de extrusão e verificou-se a expansibilidade, densidade dos produtos e a concentração de amido resistente remanescente no produto. Foram realizados experimentos segundo um planejamento experimental fatorial tendo como variáveis independentes: i) teor de umidade 14,0, 15,5 e 17,0%; ii) teor farinha 20,0, 60,0 e 100,0%. Parâmetros operacionais fixos: rotação 120 rpm; temperaturas nas três zonas de 20, 60 e 110°C respectivamente; alimentação contínua e diâmetro de trefilação 3,0 mm. Os melhores resultados indicam que uma maior proporção de farinha de mandioca na mistura com fécula, assim como menores umidades, promovem maior expansibilidade e densidade no produto. Não foram detectados amidos resistentes nas análises químicas efetuadas nos produtos extrudados de todos os ensaios realizados.

Palavras-chave: extrusão, mandioca, alimento expandido, amido resistente.

SUMMARY

Physicochemical changes occur during the extrusion of starchy raw materials in snack production; these changes can modify starch digestibility. Different blends of cassava flour and starch and different moisture levels were used in an extrusion process. The expansion and density of final products were analyzed. The final snack starch resistance were evaluated in a factorial design with moisture content (14, 15.5 and 17%) and cassava flour percentage (20, 60 and 100%) as independent variables. The extrusion conditions were: screw speed, (275 rpm); zone temperatures (20, 60 and 110°C), die diameter (3mm), and continuous feeding. The best results for radial expansion and snack density were

¹ Orientador Prof. Dr. CERAT/UNESP – Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780. CP 237, Botucatu/SP, CEP: 18610 – 307, Fone: (14) 3815-9050. dircerat@fca.unesp.br

² Aluna Curso de Mestrado Agronomia: Energia na Agricultura – FCA/UNESP, maschmidt@fca.unesp.br

with the higher flour percentages and lower moisture contents. Starch resistance was not observed in final products.

Keywords: extrusion, cassava, expanded food, resistant starch.

INTRODUÇÃO

O processo de cozimento por extrusão é uma operação unitária que recentemente foi amplamente aplicada nas indústrias de alimentos, produzindo alimentos matinais, snacks, confeitos, pastas e rações para animais (Gonzáles, et al. 2001). O processo de extrusão utiliza temperaturas que são sensíveis aos amidos e forte cisalhamento no material em extrusão, de modo que suas características funcionais são alteradas decorrentes das rupturas das cadeias dos biopolímeros, reações com outros compostos presentes na matéria-prima, entre outras (Sagar & Merrill, 1995).

Milho triturado é o material amiláceo mais utilizado devido ao fato de apresentar características granulométricas de abrasividade que auxilia na produção de calor ao processo extrusão tornando-o mais eficiente, mas a utilização de outras fontes amiláceas com composição diversa pode vir a ser uma nova opção ao conferir propriedades funcionais diferenciadas tais como cores, sabores, texturas, e exigir o estabelecimento de protocolos diferentes de fabricação (Bhattacharya et al., 1986).

Chinnaswamy & Hanna (1988) verificaram que a relação amilose/amilopectina é relevante na determinação das propriedades dos produtos extrudados à base de amido. As amiloses conduzem a produtos mais duros, menos expandidos e com força de

cisalhamento proporcional à sua concentração e conforme aumenta o seu teor, o índice de expansão diminui proporcionalmente. A amilopectina produz leveza, elasticidade, textura macia e superfícies regulares porém com características de pegajosidade.

Amidos originários de diferentes fontes apresentam concentrações de proteínas, matérias graxas e sais diversos, que num processo de extrusão afetam os seus parâmetros e, conseqüentemente, o produto extrudado (Colonna et al. 1989). Diferentemente dos amidos originários de cereais, os amidos de tuberosas apresentam baixas concentrações de proteínas e matérias graxas e isto se configura uma vantagem devido à uniformidade destas matérias-primas. Antila et al. (1984) afirmaram que a presença de proteínas é desejável devido a um efeito de estabilização da estrutura do produto e também na sua textura, e assim, amidos com baixa força de glúten originam produtos leves e crocantes.

Faraj et al. (2004) verificou que o processo de extrusão não promoveu um incremento na concentração de amidos resistentes quando extrudou amido de cevada com altas concentrações de umidade. Contrariamente, Vasanthan et al. (2002) observaram um aumento na concentração de amidos resistentes em extrudados em farinha de cevada com alta concentração de amilose, fenômeno que não ocorreu utilizando farinha de

cevada com baixa concentração de amilose. Parchure & Kulkarni (1997) não observaram aumento na concentração de amidos resistentes extrudando amido de arroz. Existem resultados aparentemente contraditórios mas que são característicos das matérias primas e tipo de processamento empregado (Faubion & Hosoney, 1982).

Os amidos podem ser classificados de acordo com sua digestibilidade em amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente. Amidos resistentes são definidos como a soma de amidos e produtos da degradação de amidos não absorvida pelo intestino delgado de indivíduos saudáveis e que podem ser absorvidos no intestino grosso (Englyst, Kingman, Cummings, 1992).

Este trabalho teve como objetivo avaliar produtos extrudados a partir de diferentes misturas de fécula e farinha de mandioca quanto a concentração de amidos resistentes remanescentes, grau de expansibilidade e a densidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Matérias-primas

A farinha de mandioca do tipo flocada e pouco tostada, foi produzida e fornecida pela Indústria Plaza de Santa Maria da Serra/SP. A fécula de mandioca foi produzida pela Indústria Lótus de Assis/SP. Ambos produtos comerciais são de linha de produção normal.

Caracterização das matérias primas

Foram caracterizadas quanto a umidade, teor de amido (AOAC, 1994), cinzas, proteínas, matérias-graxas, amilose, fibras, açúcares totais, pH e acidez titulável (AOAC, 1980) (SOMOGY, 1945).

Preparo das misturas

A quantidade de 5 kg de cada mistura foi preparada utilizando um misturador de farinhas marca Lieme modelo MB-07 e estocada em recipiente lacrado. Após determinação do teor de umidade, foi feito um ajuste pela adição de água e homogeneização no misturado.

Processo de extrusão

As misturas foram colocadas no silo alimentador do equipamento extrusora marca Inbramaq modelo Labor PQ-30 em condições constantes de: velocidade da rosca 120 rpm, temperaturas das zonas de aquecimento 20°C, 60°C e 110°C; taxa de compressão da rosca de 5:1; diâmetro da rosca de 35 mm; alimentação constante; diâmetro do orifício da matriz de trefilação de 3 mm e velocidade de corte de 30 rpm.

As análises no material extrudado foram:

a) o índice de expansão de cada ensaio foi calculado através da razão entre a medida média da seção transversal em 10 amostras, pela medida da seção transversal do orifício de saída do material extrudado (Bhatnagar, Hanna, 1995).

b) a densidade aparente foi calculada através da razão entre o valor médio das massas de 10 amostras, pelo valor médio dos seus volumes medidos através do volume deslocado de material granuloso (Bhatnagar, Hanna, 1995).

c) Para análise do conteúdo de amidos resistentes foi utilizada a metodologia proposta por Goni et al. (1996), onde as condições fisiológicas do estômago e do intestino são simuladas. As amostras foram submetidas a uma solução tampão KCl-HCl com pH 1,5. Adicionou-se uma solução de pepsina (Sigma P-7012) e levado a banho de água a 40°C por 60 minutos com agitação constante. Solução tampão de trismaleate (Acros 26497-0250) 0,1M com pH 6,9 foi adicionada e, em seguida, solução de α -amilase (Sigma A-3176). As amostras foram incubadas por 16 horas a 37°C com agitação constante. Após o período de incubação, as amostras foram filtradas e o líquido descartado. O resíduo recebeu água destilada e uma solução de KOH 2M, e foi agitado durante 30 minutos. Em seguida, adicionou-se HCl 1M, solução tampão de acetato de sódio com pH 4,75 e amiloglicosidase (Sigma A-7255). Banho de água por 45 minutos a 60°C com agitação constante e novamente filtrou-se a solução das amostras, descartando o resíduo. A quantificação dos amidos resistentes foi obtida através da determinação da concentração de glicose pelo método de Somogy e multiplicada por um fator 0,9.

d) a concentração de amido total foi determinada utilizando-se a metodologia proposta por Goni et al. (1997), onde as

amostras foram submetidas a uma solução de KOH 2M, e agitação por 30 minutos. Em seguida, adicionou-se HCl 0,2M, solução tampão de acetato de sódio 0,4M com pH 4,75 e amiloglicosidase (produto Sigma A-3176). Banho de água por 45 minutos a 60°C com agitação constante. A quantificação dos amidos foi obtida através da concentração de glicose pelo método de Somogy e multiplicada por um fator 0,9.

Planejamento experimental

Foi realizado um planejamento experimental fatorial 3^2 , no qual as variáveis independentes foram estudadas em três níveis; misturas de farinha previamente preparadas a 20%, 60% e 100% em relação à fécula; e teor de umidade de 14%, 15,5% e 17%. A cada ensaio foram, retiradas amostras do material extrudado e estocadas para as análises de amido resistente; amido total; índice de expansão e densidade.

NÍVEL	-1	0	+1
FARINHA DE MANDIOCA (f)	20%	60%	100%
UMIDADE (u)	14,0%	15,5%	17,0%

Análises estatísticas

A metodologia de superfície de resposta e análise de variância (ANOVA) foram realizadas utilizando o programa computacional Statística 5.0 comparando os valores experimentais do planejamento aos modelos quadráticos obtidos e aplicando o teste F para verificação do ajuste a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, podem ser observados os resultados da análise centesimal efetuada na farinha e na fécula de mandioca. Os valores são característicos destes produtos e variações que podem ser observadas são devido ao método de processamento e/ou modificações nas matérias-primas vegetais.

Tabela 1. Valores médios observados em tres amostras da composição centesimal da farinha e da fécula de mandioca.

	Farinha de mandioca (g/100 g)	Fécula de mandioca (g/100 g)
Umidade	14,1 ± 0,07	14,0 ± 0,1
Cinzas	0,78 ± 0,02	0,10 ± 0,01
Amido	70,49 ± 1,72	83,3 ± 0,02
Amilose	Nd	17,6 ± 0,4
Amido Resistente	1,03 ± 0,02	1,12 ± 0,03
Fibras	4,75 ± 0,04	0,52 ± 0,04
Proteínas	1,29 ± 0,04	0,47 ± 0,02
Matérias-graxas	0,36 ± 0,02	0,51 ± 0,03
Açúcares solúveis	1,91 ± 0,11	0,21 ± 0,01
PH	6,2 ± 0,05	6,0 ± 0,1
Acidez Titulável	1,45 ± 0,05	0,6 ± 0,01

O processo de fabricação de farinha de mandioca utiliza temperaturas na faixa de 150 a 240°C por um tempo de 3 a 4 minutos (Schmidt, Agostine, Cabello, 2002) que provocam não só gelatinização parcial dos amidos fixados às matrizes vegetais como a sua parcial

retrogradação que pode incrementar a concentração de amidos resistentes conforme observado por Haralampu, 2000 e Vasanthan, Bhattu, 1998. Nas matérias primas utilizadas, a diferença entre a concentração de amidos resistentes entre elas foi em torno de 10% conforme se observa nos valores da Tabela 1.

Nos dados da Tabela 2, observa-se a ausência de amido resistente em todos os produtos finais, o que significa uma ampla digestibilidade dos produtos extrudados e indica também que o processo de extrusão produziu modificações na estrutura química dos amidos, qual seja, o rompimento dos grânulos e sequente gelatinização que permitiu o acesso de enzimas amilolíticas disponíveis (Berry, 1986).

Com relação aos índices de expansão das amostras, estes valores ficaram entre 4,05 a 4,76 indicando que o produto apresentou características comuns a outros expandidos. Dados da literatura indicam expansões diamétricas que podem chegar a 500% utilizando amidos puros, 400% para grãos de cereais integrais com 65 a 78% de amidos e a 300% para misturas de rações animais com 40 a 50% de amidos (Ascheri, 2000).

A densidade aparente dos biscoitos produzidos nos ensaios, mostraram valores de densidade abaixo dos verificados por Thymi et al.,(2005) que encontrou valores de densidade entre 0,2 a 0,7 g/cm³ em diferentes condições de ensaios utilizando somente amido de milho. Ding, 2005 observa valores entre 0,1 a 0,43 g/cm³ utilizando farinha de arroz que apresentava maiores teores de proteínas e matérias graxas que as misturas ensaiadas.

Tabela 2. Resultados dos ensaios realizados conforme o planejamento experimental.

f	U	Amido Resistente (%)	Índice Expansão	Densidade aparente (g/cm ³)
-1	-1	0	4,35	0,141
-1	0	0	4,09	0,167
-1	+1	0	4,05	0,170
0	-1	0	4,76	0,133
0	0	0	4,44	0,176
0	+1	0	4,18	0,203
+1	-1	0	4,68	0,150
+1	0	0	4,67	0,154
+1	+1	0	4,07	0,150

expandidos não apresentou correlação com a sua densidade nos ensaios realizados, conforme mostra a dispersão dos pontos no gráfico da Figura 1 e provavelmente seja decorrente das características dos tipos de medidas; enquanto uma delas é a razão entre dois diâmetros distintos a outra é uma medida de volume do material. Outra explicação seria devido aos comportamentos viscoelásticos das diferentes misturas quando transita na extrusora e atinge a matriz de trefilação vaporizando parte da água e expandindo formando uma estrutura que é dependente da morfologia dos seus constituintes e suas interações (Thymi et al., 2005).

O índice de expansão dos biscoitos

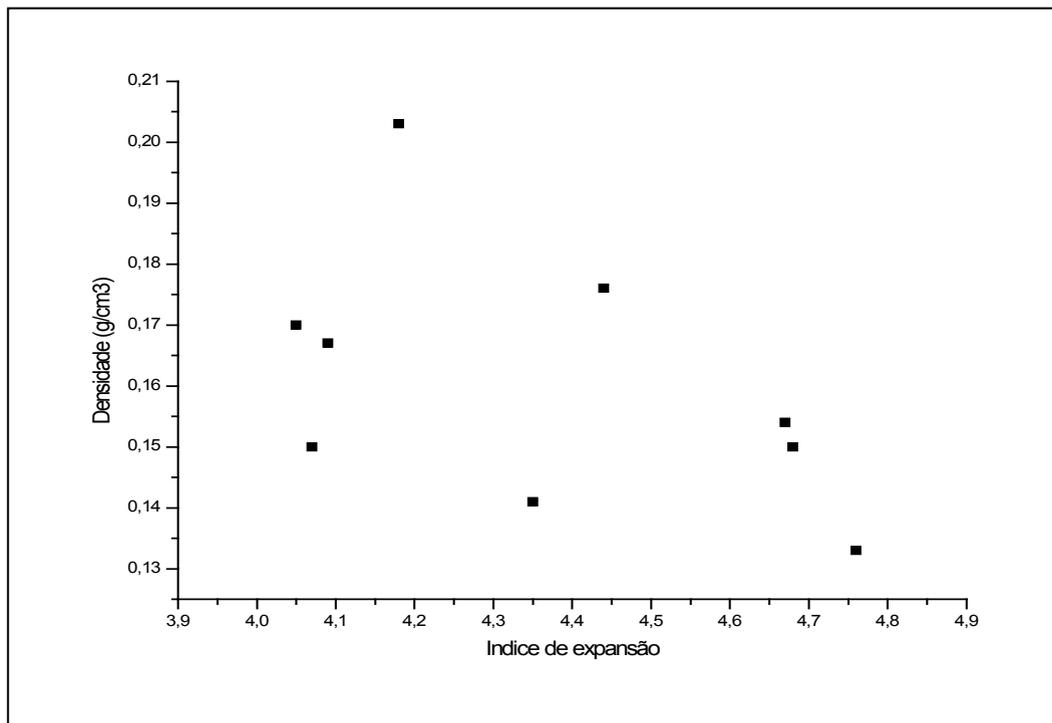


Figura 1. Gráfico da correlação entre o índice de expansão e a densidade das amostras dos extrudados obtidos nos ensaios experimentais.

A ausência de amido resistente em material expandido também foi observada por Haralampu

(2000) que em ensaios onde pressões acima de 215 psi no orifício de trefilação da extrusora,

promoveram a remoção dos amidos resistentes no extrudado. Neste trabalho, não foi possível avaliar este valor de pressão pois o equipamento não dispõe de sensor indicador, mas supõe-se que a severidade do processo seja semelhante à indicada por aquele autor.

Na Tabela 3, estão expostos os valores das concentrações de amidos determinados nas misturas de farinha de mandioca com a fécula de mandioca e indicando maiores teores de amido onde a fécula participa com maior peso.

Tabela 3. Valores médios com respectivo desvio padrão da concentração de amido nas misturas de farinha com fécula de mandioca, em peso seco.

Farinha mandioca (%)	Fécula mandioca (%)	Amido total (%)
20	80	77,16 ± 1,51
60	40	71,92 ± 1,30
100	0	65,17 ± 2,03

No gráfico da Figura 2 pode se observar o efeito da umidade e concentração relativa de farinha de mandioca no índice de expansão dos produtos extrudados.

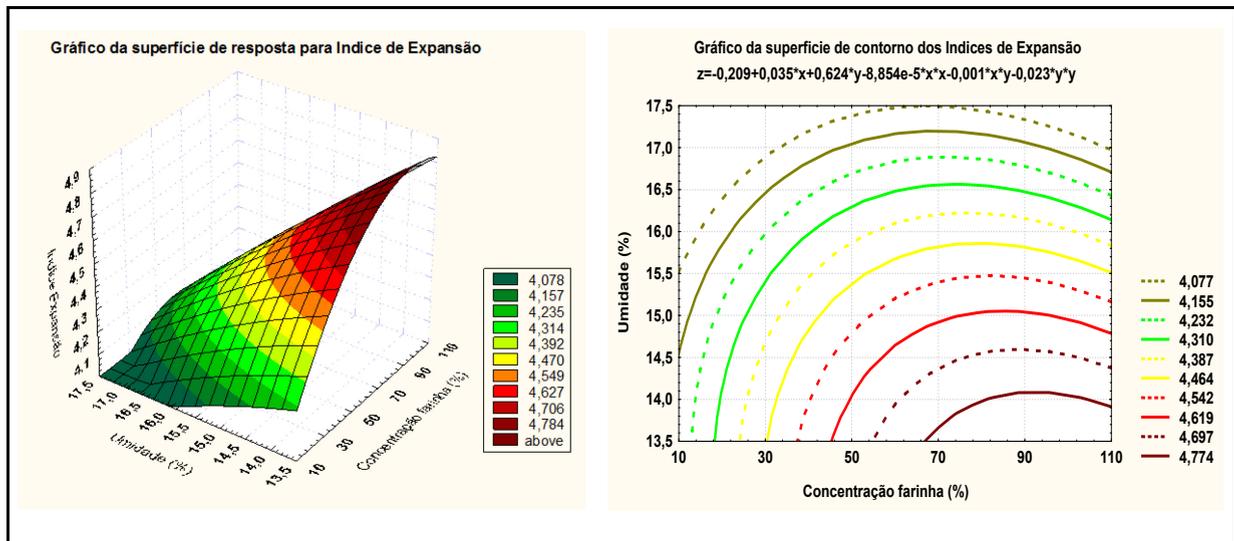


Figura 2. Gráfico da superfície de resposta e de contorno do índice de expansão em função concentração de farinha na fécula e umidade dessa mistura.

Analisando os gráficos observa-se que a expansibilidade aumenta à medida que o conteúdo de umidade decresce até em torno de 14%, fenômeno também observado por Chinnaswamy & Hanna, 1988. Conforme aumenta a concentração de farinha de mandioca na mistura, o índice de expansão também aumenta e isto é devido à presença de maior concentração de materiais lignocelulósicos presentes na farinha mandioca que expandem-
Revista Raízes e Amidos Tropicais

se muito mais que o amido quando sofrem a rápida decompressão na saída do orifício de trefilação da extrusora .

A Tabela 4 fornece os valores da análise de variância (ANOVA) para o Índice de Expansão em função da concentração de farinha de mandioca nas misturas e em diferentes umidades , onde pelo teste $F_{\text{estatístico}} = 2,2 \cdot F_{\text{tabelado}}$, mostrando a validade do ajuste do modelo.

Tabela 4. ANOVA do índice de expansão dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R ²
Regressão	2	0,51417	0,25708	11,337	0,79076
Resíduo	6	0,13606	0,02268		
Soma	8	0,65022			

Valor F_{tabelado} para nível significância de 95% F(2,6) = 5,14

Com relação à densidade, os produtos mais densos ocorrem a maiores concentrações de água e de concentrações intermediárias de

farinha de mandioca, ou seja, a água prejudica a expansão do material conforme pode ser confirmado pelos gráficos da Figura 3.

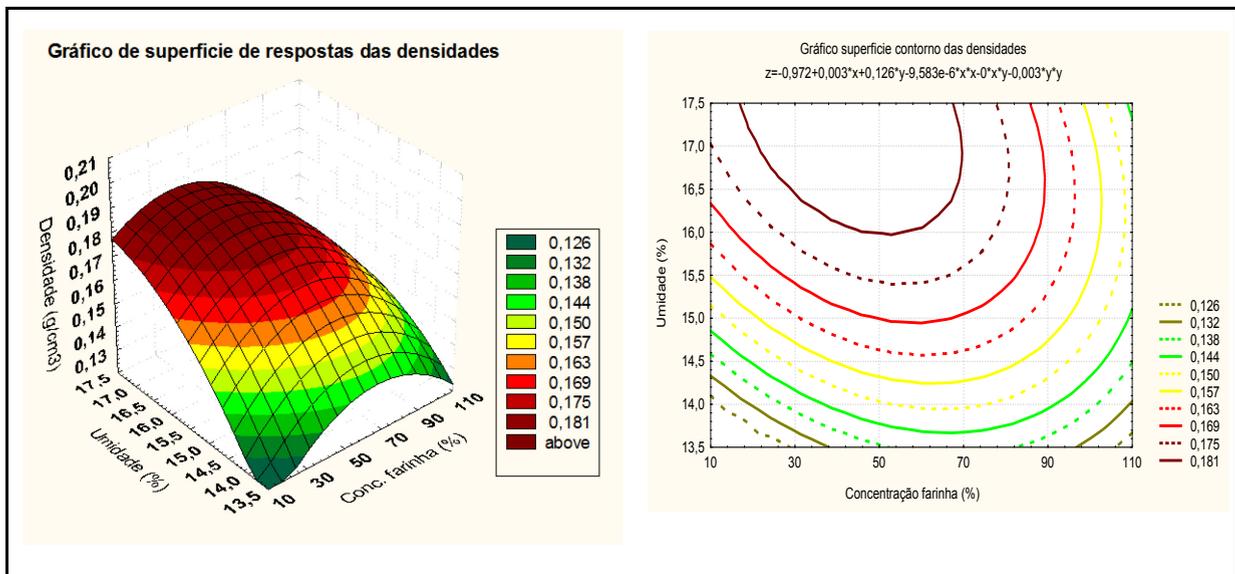


Figura 3. Gráfico da superfície de resposta e de contorno da densidade em função concentração de farinha na fécula e umidade dessa mistura.

Os modelos quadráticos estão indicados no gráfico de contorno nas Figuras 2 e 3.

Na Tabela 5, são demonstrados os valores de análise de variância (ANOVA) para a densidade em função da concentração de

farinha de mandioca nas misturas e em diferentes umidades, onde pelo teste $F_{estatístico} = 0,546 \cdot F_{tabelado}$, mostrando que não existe ajuste do modelo e portanto não explicam as variações observadas nos ensaios.

Tabela 5. ANOVA da densidade dos produtos das misturas de farinha de mandioca com diferentes umidades.

FONTE	Grau Liberdade	Soma Quadrados	Média Quadrados	F estatístico	Variância R ²
Regressão	2	0,00173	$8,647 \times 10^{-4}$	2,80653	0,48334
Resíduo	6	0,00185	$3,081 \times 10^{-4}$		
Soma	8	0,00358			

Valor F_{tabelado} para nível significância de 95% F(2,6) = 5,14

Segundo Neto et al. (1995), quanto maior o valor de $F_{\text{estatístico}}$ quando comparado com o F_{tabelado} , melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais. Quanto à porcentagem de variância explicada (R^2), observam que quanto maior o valor, aproximando-se de 1, melhor os valores observados serão explicados pelo modelo.

O efeito mais significativo foi com relação à total gelatinização dos amidos em todos os ensaios efetuados, verificado pela ausência de amidos resistentes nas determinações efetuadas nas amostras.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que o processo de extrusão, nas condições de processo descritas, elimina os amidos resistentes em todos os tratamentos testados. Verificou-se também que quanto menor a umidade da matéria prima aplicada no processo de extrusão, maior é o índice de expansão e menor a densidade do produto extrudado.

Conclui-se também que a utilização de farinha misturada com fécula de mandioca influenciou a expansibilidade e conseqüentemente a densidade dos materiais extrudados sendo que os produtos com as melhores características podem ser obtidos utilizando-se misturas em torno de 80% de farinha e 20% de fécula de mandioca com umidade ao redor de 14%.

REFERÊNCIAS

ANTILA, J.; PIPATTI, R.; LINKO, P. Process control and automation in extrusion cooking. In: **Thermal Processing and Quality of Food**. London: Elsevier Appl. Sci., 1ª ed., p.44-8, 1984.

ASCHERI, J. L. R. Características da matéria prima e sua relação com os parâmetros operacionais. In: Princípios teóricos e práticos na elaboração de "snacks" por extrusão termoplástica. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1ª ed., p.1-10, 2000.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 13ª ed. Washington, 1980. 109p.

BHATNAGAR, S.; HANNA, M. A. Physical, mechanical and thermal properties of starch-based plastic foams. **Transaction of the ASAE**, v. 38, p. 567-571, 1995.

BERRY, C. S. Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzyme during the determination of dietary fiber. **Journal of Cereal Science**, v. 4, p. 301-314, 1986.

BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A.; KAUFMAN, R. E. Textural properties of extruded lant protein blends. **J. Food Sci.**, v. 51, p. 988, 1986.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **J. Food Sci.**, v. 53, n. 3, p. 834-40, 1988.

- COLONNA, P.; TAYEB, J.; MERCIER, C. Extrusion cooking of starch and starchy products. In: **Extrusion Cooking**. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1ª ed., p.247-319, 1989.
- DING, Q-B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **J. Food Sci.**, v. 66, p. 283-289, 2005.
- ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 30-50, 1992.
- FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. 1. Effect of moisture and flour type on extruded properties. **Cereal Chem.**, v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.
- FARAJ, A.; VASANTHAN, T.; HOOVER, R. The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. **Food Research International**, 37, p. 517-525, 2004.
- GONZALEZ, R. J.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D. M. Application of an ideal model to scaling up of a laboratory extruder. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p. 45-51, 2001.
- GONI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURACALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, p. 427-437, 1997.
- GONI, I.; GARCIA-DIZ, L.; MANAS, E.; SAURACALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v. 56, p. 445-449, 1996.
- HARALAMPU, S. G. Resistant starch-a review of the physical properties and biological impact of RS3. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, p. 285-292, 2000.
- NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1995, 299p.
- PARCHURE, A. A., KULKARNI, P. R. Effect of food processing treatment on generation of resistant starch. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 48, p. 257-260, 1997.
- SAGAR, A. D., MERRILL, E. W. Starch fragmentation during extrusion processing. **Polymer**, v. 36, p. 1883-6, 1995.
- SCHMIDT, M. C.; AGOSTINI, M. R.; CABELLO, C. Temperaturas de operação em fornos circulares de chapa tipo aberto utilizado em fábricas de farinha de mandioca. In: 5º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIENCIA DE ALIMENTOS, 2003, Campinas. Anais do 5º SLACA. Campinas/SP FEA/UNICAMP, 2003, v. CD.
- SIEVERT, D.; POMERANZ, Y. Characterization and evaluation by enzymatic, thermo-analytical

and microscopic methods. **Cereal Chem.**, v. 66, p. 342-47, 1989.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **J. Biol. Chem.**, v. 160, p. 69-73, 1945.

THYMI, S.; KROKIDA, M. K.; PAPPA, A.; MAROULIS, Z. B. Structural properties of

extruded corn starch. **J. Food Sci.**, v. 68, p. 519-526, 2005.

VASANTHAN, T.; JIANG, G.; YEUNG, J.; Li, J. Dietary fiber profile of barley flour as effect by extrusion cooking. **Food Chemistry**, v. 77, p. 35-40, 2002.