

Parâmetros de extrusão na produção de *snacks* de farinha de mandioca enriquecidos com caseína

Extrusion parameters in snacks production from cassava flour and casein

Beatriz Helena Borges Lustosa¹; Magali Leonel^{2*}; Martha Maria Mischán³

Resumo

Este trabalho teve por objetivo a avaliação dos efeitos das condições operacionais do processo de extrusão (temperatura de extrusão, umidade e teor de proteína) na obtenção de produtos expandidos de mandioca, enriquecidos com caseína, visando fornecer informações ao setor de processamento de mandioca. A farinha de mandioca e a caseína foram caracterizadas quanto aos seus componentes químicos e cor. O experimento seguiu o delineamento experimental “central composto rotacional” para três fatores. Os produtos obtidos foram caracterizados quanto ao índice de expansão, volume específico, cor e dureza. A análise dos dados mostrou que as condições de menor umidade, teor de proteína e temperatura proporcionaram a obtenção de produtos expandidos com atributos desejados, ou seja, cor clara, alta expansão e baixa dureza.

Palavras-chave: Mandioca, extrusão, proteína, expansão, cor, textura

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of operational conditions of the extrusion process (temperature, moisture and protein content) in production of cassava snacks added of casein, aiming to provide information to the cassava processing industry. The cassava flour and casein were characterized as their chemical components and color. The experimental design followed the central composite rotational design with three factors. The obtained products were characterized as for rate of expansion, specific volume, color and hardness. Data analyses showed that the lower moisture, protein and temperature conditions provided desired expanded products with light color attributes, high expansion and low hardness.

Key words: Cassava, extrusion, protein, expansion, color, texture

¹ Aluna de Graduação em Nutrição – Instituto de Biociências/UNESP, Botucatu-SP. Bolsista FAPESP

² Pesquisadora- Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT)/UNESP, Botucatu-SP. E-mail: mleonel@fca.unesp.br

³ Professora Doutora- Depto. Bioestatística – Instituto de Biociências/UNESP, Botucatu-SP. E-mail: mmischan@ibb.unesp.br

* Autor para correspondência

Introdução

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

O mercado de *snacks* segue a tendência mundial de ênfase na saúde e nos benefícios que os ingredientes alimentícios podem trazer para a qualidade de vida, o que é comprovado pelo grande número de lançamentos de produtos fortificados, enriquecidos, com baixo teor de gorduras e funcionais.

A farinha constitui um dos principais produtos da mandioca e seu uso é muito difundido em todo o país. A tecnologia de fabricação da farinha é simples, por isso existem no Brasil indústrias das mais variadas escalas de produção e graus de tecnificação. Essa heterogeneidade leva à comercialização de uma ampla variedade de farinhas, de diferentes grupos, cores, granulometria e tipos.

A produção de farinha de mandioca em 2005 foi de 2,4 mil toneladas, com as regiões Norte e Nordeste responsáveis por 64% da produção (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2006). De acordo com dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares, em São Paulo, na faixa de renda de um a dois salários mínimos, o consumo de farinha é de 14 kg/hab/ano, já nas famílias com renda superior a cinco salários mínimos este consumo cai para 2 kg/hab/ano. Os produtos a base de mandioca de maior valor agregado (farofas, farinha biju, mandioca congelada, pão de queijo, etc) são comercializados em super e hipermercados e adquiridos por consumidores de renda mais alta (BARROS, 2004).

Dias e Leonel (2006), avaliando quanto à composição centesimal farinhas de mandioca de diferentes grupos e classes de diversas localidades do Brasil, observaram valores de umidade variando de 3,10 % a 11,57 %, cinzas de 0,48 % a 1,12 %,

fibras de 0,57 % a 2,75 %, proteína de 0,57 % a 1,08 %, matéria-graxa de 0,15 % a 1,39 %, açúcares solúveis totais de 0,26 % a 2,46 % e amido de 81,92 % a 91,55 %.

A caseína comercial, produzida por precipitação ácida, é uma das principais proteínas com funcionalidade tecnológica alimentar, com propriedades não-substituíveis por outras proteínas em certas aplicações e, produzida há anos (FOX, 1989). As aplicações de caseína e produtos caseinatos incluem produtos cárneos, produtos lácteos, produtos de panificação, chocolate e confeitos, coberturas comestíveis, bebidas lácteas e achocolatados, cremes para café, salgadinhos e *snacks* (GIESE, 1994).

Indústrias processadoras de mandioca tem grande interesse em introduzir novas tecnologias visando diversificação de produtos. Para farinha de mandioca atingir consumo nas faixas de renda maior, é importante avaliá-la como matéria-prima destinada ao desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, a exemplo de *snacks* com apelo nutricional. Nesta linha, o trabalho objetiva avaliar o efeito de condições operacionais de extrusão nas propriedades físicas de *snacks* de farinha de mandioca e caseína.

Material e métodos

Caracterização das matérias-primas

A farinha de mandioca foi doada pela empresa Plaza Ind. Alim. Ltda, de Santa Maria da Serra-SP, e apresentava a seguinte classificação: Grupo: seca; Sub-grupo: grossa; Classe: branca; Tipo: 1.

A farinha de mandioca e o produto comercial Caseína Premium (Cascade Production Ltda) foram caracterizados quanto ao teor de umidade, cinzas, proteína, matéria-graxa, açúcares totais, fibras e amido (AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS, 1983).

Processo de extrusão

A extrusão foi efetuada em linha completa de extrusão IMBRA RX da Imbramaq S/A. Os parâmetros fixos do processo foram: taxa de compressão da rosca (4,5mm profundidade e 14mm de largura); taxa de alimentação: 150g/min; abertura da matriz: 3mm; temperatura na 1ª zona e 2ª zona: 25°C e 60°C, respectivamente, e rotação da rosca: 272rpm. Já os parâmetros variáveis foram: temperatura de extrusão na terceira zona; umidade da matéria-prima e porcentagem de proteína na mistura de farinha de mandioca e caseína.

Foram preparadas misturas de 700g de farinha de mandioca e caseína em batedeira planetária ARNO, de forma que estas ficassem com os teores de proteína a serem estudados. Após a mistura das duas matérias-primas nas diferentes concentrações de proteína e determinado o teor de umidade das

misturas, as amostras foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade, conforme o delineamento experimental. O condicionamento foi realizado com água destilada adicionada lentamente com pipeta e manteve-se agitação constante na batedeira por 5 minutos.

Delineamento experimental

O processo de extrusão seguiu o delineamento ‘central composto rotacional’ segundo Cochran e Cox (1957), com três fatores (teor de proteína nas misturas, temperatura de extrusão e umidade das misturas) e cinco níveis, totalizando quinze tratamentos (Tabela 1). Destes quinze tratamentos, oito foram fatoriais (codificados como -1 e +1), seis axiais (codificados como $-\alpha$ e $+\alpha$, sendo $\alpha=2^{1/4}=1,682$) e um central (codificado como zero e repetido seis vezes).

Tabela 1. Variáveis do processo de extrusão e níveis de variação.

Fatores ou variáveis independentes	Níveis				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
P= teor de proteína (%)	2,5	4	6	8	9,5
T= temperatura de extrusão (°C)	65	80	100	120	135
U= umidade das misturas (%)	14,5	16	18	20	21,5

$\alpha = 1,682$

Análises dos produtos extrusados

Índice de expansão

O índice de expansão (IE) dos extrusados foi calculado pela relação entre o diâmetro da amostra e o diâmetro da matriz (FAUBION; HOSENEY, 1982). O valor considerado foi obtido pela média aritmética das medidas de 15 diferentes produtos expandidos dentro de cada tratamento.

Volume específico

O volume específico (VE) dos produtos expandidos foi determinado pelo método do deslocamento da massa ocupada (semente de painço)

e determinado o seu volume em proveta graduada, sendo o VE calculado pela divisão do volume pelo peso (massa) da amostra e expresso em mL/g.

Análise de cor

A cor das misturas e dos produtos extrusados foi avaliada em colorímetro *Minolta CR-400*. Os resultados foram expressos em valores L^* , a^* e b^* , onde os valores de L^* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores do croma a^* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores do croma b^* variam do azul ao amarelo, ou seja, de -60 a +60, respectivamente.

Análise de textura

A determinação da dureza (parâmetro de textura) foi realizada em analisador de textura TA-XT2, de carga máxima de 5 kg, utilizando-se o probe: HDP/WBV (lâmina com abertura em “V” Warner Bratzler – USDA Standard). Os parâmetros utilizados para a avaliação das amostras foram: velocidade pré-teste de 4,0mm/s, velocidade teste de 1,0mm/s e pós-teste de 5,0mm/s.

Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados experimentais foi utilizado o modelo:

$$y_k = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_{ik} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i}^3 b_{ij} x_{ik} x_{jk} + e_k,$$

onde

y_k = valor observado da variável dependente no nível K , $K = 1, \dots, 20$;

x_{ik} = i -ésima variável independente, no nível K , $i = 1, 2, 3$;

b_0 = parâmetro do modelo, independente de x ;

b_i = parâmetros correspondentes aos efeitos lineares de x_i ;

b_{ij} = parâmetros correspondentes aos efeitos de 2ª ordem de $x_i x_j$, $i = 1, 2, 3$, $j = 1, \dots, 3$;

e_k = erro experimental associado à k -ésima parcela.

O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados com o auxílio do sistema SAS (SAS INSTITUTE INCORPORATION, 2003). A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA), sendo adotado o nível de significância alfa de 5%. Inicialmente foi realizada a análise de variância sendo determinados os

coeficientes de regressão do modelo incluindo todos os parâmetros (linear, quadrático e interação). O ajuste do modelo foi feito pela opção “step-wise”, sendo que o modelo ajustado obtido foi validado pelo teste F utilizando-se como denominador o quadrado médio do erro puro (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

Na construção das superfícies de resposta duas variáveis independentes variaram dentro das regiões estudadas e a terceira foi mantida fixa no ponto central, sendo os gráficos de superfície de resposta construídos no programa Statistica (STATSOFT INCORPORATION, 1995).

Resultados e discussão

Caracterização das matérias-primas

A farinha de mandioca estudada apresentou composição química semelhante à relatada por Dias e Leonel (2006) para diferentes tipos de farinha, caracterizando-se como produto de elevado teor de amido, considerável teor de fibras e baixa concentração de matéria graxa e proteínas (Tabela 2). A composição química da caseína mostrou elevado teor de proteína, considerável teor de cinzas e baixa concentração de matéria graxa.

Roman e Sgarbieri (2005) em análise centesimal de três tipos de caseínas (coágulo de caseína, caseína comercial e caseína micelar), observaram teor de proteínas na caseína comercial de 91,98% e 2,41% de cinzas, enquanto na caseína micelar, o teor observado de proteínas foi de 86,14% e de cinzas 8,44%, o que mostra que os valores obtidos para proteínas e cinzas na caseína comercial usada neste experimento estão bem próximos aos encontrados por estes autores.

Tabela 2. Caracterização média da farinha de mandioca e da caseína comerciais.

Componentes (g/100g)	Farinha de mandioca crua	Caseína
Umidade	12,06 ± 0,26	9,66 ± 1,34
Cinzas	0,75 ± 0,05	2,16 ± 0,36
Matéria graxa	0,46 ± 0,05	0,44 ± 0,02
Proteína	0,11 ± 0,01	88,33 ± 2,7
Fibras	3,52 ± 0,10	-
Amido	81,99 ± 1,9	-
Açúcares solúveis totais	1,68 ± 0,07	-

Análises de cor das misturas de farinha de mandioca e caseína

Os resultados obtidos na análise de cor das misturas de farinha de mandioca e caseína, para os diferentes teores de proteína, estão apresentados na Tabela 3. Todas as misturas mostraram alta luminosidade (L*), croma a* positivo (vermelho) e croma b* positivo (amarelo).

Resultados semelhantes foram relatados por Dias e Leonel (2006), que analisando farinhas de mandioca de diversas classificações, observaram luminosidade variável de 92,8 a 78,43, croma a* de

-6,33 a 4,10 e croma b* de 6,33 a 38,77, mostrando que as características de cor da farinha de mandioca não foram alteradas pela mistura com caseína nas porcentagens avaliadas.

Caracterização dos produtos extrusados

Os resultados obtidos para o índice de expansão, volume específico, cor (L*, a* e b*) e dureza dos produtos extrusados nos diferentes tratamentos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3. Resultados médios da análise de cor das misturas de farinha de mandioca e caseína.

Proteína (%)	L*	a*	b*
2,5	77,63 ± 0,22	3,17 ± 0,23	15,49 ± 0,16
4,0	79,05 ± 0,40	3,08 ± 0,03	15,35 ± 0,18
6,0	79,64 ± 0,20	2,99 ± 0,04	15,43 ± 0,09
8,0	80,06 ± 0,17	2,79 ± 0,04	15,25 ± 0,11
9,5	80,36 ± 0,30	2,68 ± 0,06	15,73 ± 0,12

L*= luminosidade, a*= croma a e b*= croma b.

Tabela 4. Propriedades físicas dos produtos extrusados de farinha de mandioca e caseína nos diferentes tratamentos.

Trat	Variáveis codificadas			Variáveis reais			Variáveis dependentes ou respostas					
	X1	X2	X3	P	T	U	IE	VE	L*	a*	b*	Dureza
T1	1	1	1	8	120	20	4,29	7,04	70,53	8,91	25,65	6,42
T2	1	1	-1	8	120	16	4,51	3,39	74,33	6,89	22,46	8,49
T3	1	-1	1	8	80	20	4,17	6,68	70,43	6,74	22,42	8,53
T4	1	-1	-1	8	80	16	4,24	5,7	74,13	5,42	19,07	12,32
T5	-1	1	1	4	120	20	4,35	3,44	74,16	4,45	18,05	11,69
T6	-1	1	-1	4	120	16	4,01	8,38	72,37	7,77	22,75	7,73
T7	-1	-1	1	4	80	20	3,86	6,81	70,23	7,13	22,29	7,88
T8	-1	-1	-1	4	80	16	4,56	8,46	67,23	6,27	20,44	6,60
T9	0	0	0	6	100	18	3,96	5,14	70,59	8,23	23,67	8,07
T10	0	0	0	6	100	18	3,92	5,14	72,08	7,62	23,26	8,45
T11	0	0	0	6	100	18	3,88	5,35	71,07	8,11	23,88	8,65
T12	0	0	0	6	100	18	3,96	5,51	69,63	8,49	23,83	8,91
T13	0	0	0	6	100	18	3,72	5,36	69,37	8,6	23,87	8,49
T14	0	0	0	6	100	18	3,92	5,19	70,47	8,05	23,5	8,62
T15	-1,689	0	0	2,5	100	18	3,52	4,18	77,15	3,64	18,57	8,28
T16	1,689	0	0	9,5	100	18	3,29	8,02	59,6	13,3	30,33	4,43
T17	0	-1,689	0	6	65	18	4,19	5,46	69,9	4,3	17,02	7,52
T18	0	1,689	0	6	135	18	4,25	9,35	72,76	7,6	22,36	7,62
T19	0	0	-1,689	6	100	14,5	4,53	5,24	74,42	5,7	18,93	8,71
T20	0	0	1,689	6	100	21,5	3,87	2,72	70,27	6,61	20,67	11,44

X1= proteína (%); X2= temperatura (°C); X3= umidade (%); P= proteína (%), temperatura (°C); U= umidade (%); IE= índice de expansão; VE= volume específico (mL/g), L*= luminosidade; a*=croma a; b*= croma b, dureza (kgf).

Análise da cor dos produtos extrusados

A cor é um atributo importante dos produtos alimentícios sendo que durante a extrusão ocorrem reações de escurecimento não-enzimático (reação de Maillard e caramelização) e degradação de pigmentos que afetam este parâmetro de qualidade. As condições de processamento utilizadas na extrusão (alta temperatura e baixa umidade) são reconhecidas por favorecer a reação entre açúcares redutores e aminoácidos, o que resulta na formação de compostos coloridos e na redução do aminoácido lisina. Se o escurecimento é muito intenso, cores e sabores indesejáveis podem aparecer (ILO; BERGHOFER, 1999).

Os resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados mostraram que os produtos extrusados apresentaram valores de luminosidade (L*) entre 59,60 e 77,15, como valores mínimos e máximos, respectivamente. A análise de regressão mostrou que o efeito linear do teor de proteína foi significativo ($p < 0,05$) sobre a luminosidade dos produtos (Tabela 5).

A Figura 1 mostra o efeito do teor de proteína sobre a luminosidade dos produtos extrusados, seguindo o modelo ajustado. Nas condições intermediárias testadas de temperatura (100°C) e umidade (18%), o aumento do teor de proteína leva a uma diminuição na luminosidade das amostras.

Tabela 5. Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a luminosidade (L*) dos produtos extrusados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	valor P	
Média	70,78	0,91185			
P	-2,3794	1,10342	1	0,0448*	
R ²	0,2053				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Regressão	1	77,32994	77,32994	4,65	0,0448*
Resíduos	18	299,32754	16,62931		
Total	19	376,65748			

P= teor de proteína; R²= coeficiente de determinação; GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; PR>F= probabilidade $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$.

* Significativo ao nível de 5%.

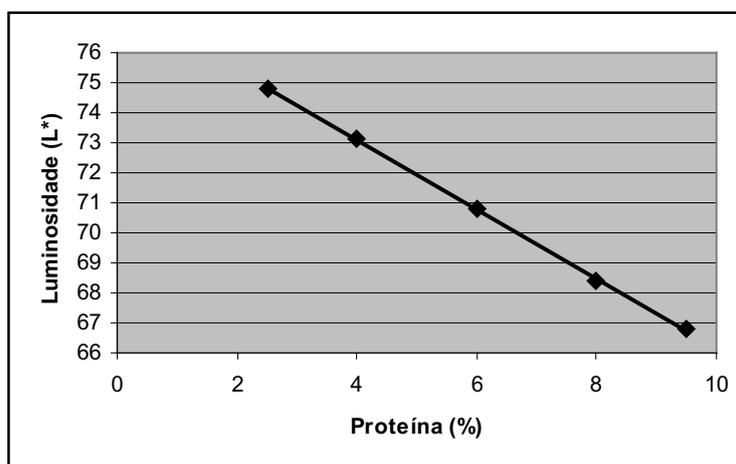


Figura 1. Efeito do teor de proteína na mistura de farinha de mandioca e caseína sobre a luminosidade dos produtos extrusados, sob temperatura de extrusão de 100°C e umidade nas misturas de 18%.

Leoro (2007), avaliando o efeito dos parâmetros operacionais sobre a cor de cereal matinal extrusado à base de farinha de milho e maracujá, observou a influência do teor de farelo de maracujá e da temperatura de extrusão nos produtos extrusados, os quais apresentaram L* variando de 44,15 a 68,26, com os menores valores obtidos nas maiores concentrações de farelo de maracujá.

Ilo e Berghofer (1999), avaliando diferentes parâmetros do processo de extrusão em produtos à base de milho, concluíram que os únicos parâmetros significativos na análise de cor foram a temperatura de processo e umidade inicial de matérias-primas, diferindo deste experimento onde temperatura e

umidade não tiveram efeito significativo sobre a luminosidade dos produtos.

Através dos resultados do planejamento foi possível determinar os efeitos dos fatores sobre a resposta do croma a*, que representa a variação de cor do verde ao vermelho. Os valores do croma a* variaram de 3,64 a 16,3. Analisando os efeitos dos fatores do processo observou-se que o único parâmetro que teve efeito significativo ($p < 0,05$) foi o efeito linear do teor de proteína (Tabela 6). Observou-se, através da Figura 2, que com o aumento do teor de proteína os produtos extrusados apresentaram maiores valores de croma a* (vermelho).

Tabela 6. Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o croma a* dos produtos extrusados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	valor P	
Média	7,34	0,49			
P	1,73	0,60	1		0,0093*
R ²	0,32				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Regressão	1	40,896	40,896	8,47	0,0093*
Resíduos	18	86,924	4,829		
Total	19	127,82			

P= teor de proteína; R²= coeficiente de determinação; GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; PR>F= probabilidade $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$.

* Significativo ao nível de 5%.

O parâmetro de cor b*, que representa a variação do azul ao amarelo, apresentou respostas variadas segundo o tratamento (17,02 a 30,33). A análise dos coeficientes de regressão mostrou efeitos significativos linear do teor proteico e quadráticos da umidade e temperatura de extrusão sobre esse parâmetro (Tabela 7). Após a validação do modelo

pelo teste F foi possível traçar as superfícies de resposta para o efeito dos fatores sobre o croma b* dos produtos extrusados (Figuras 3, 4 e 5). Os menores valores do croma b* foram obtidos nas condições de baixo teor de proteína e elevada umidade. A Figura 5 representa um ponto máximo, indicando que em temperatura e umidade intermediárias a resposta croma b* foi máxima.

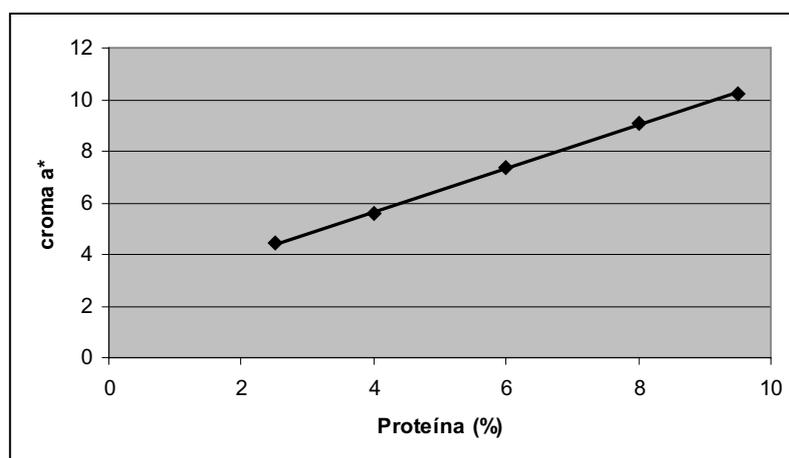


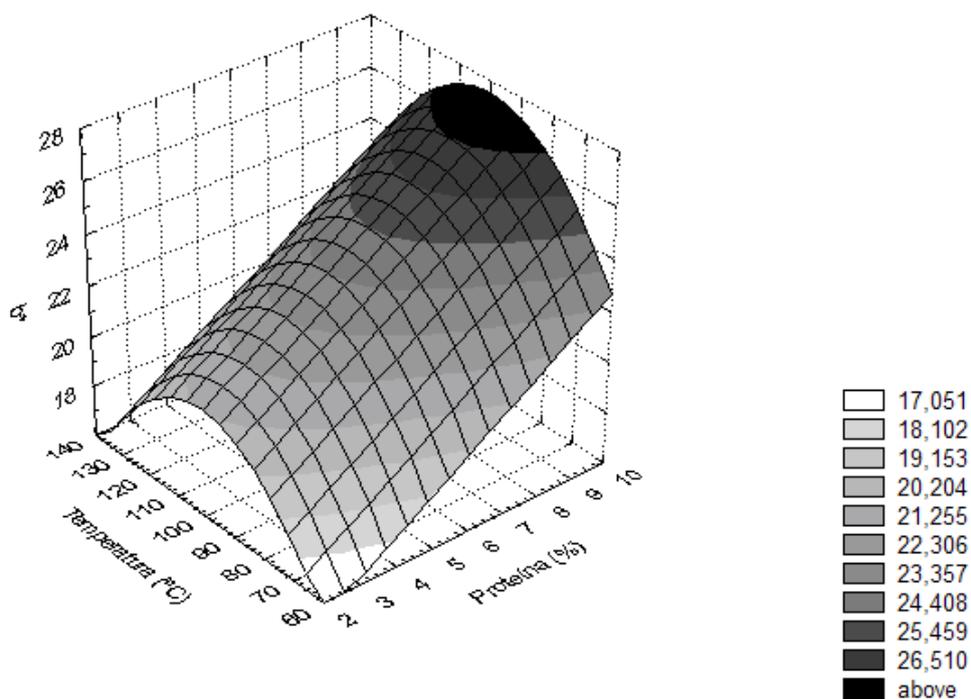
Figura 2. Efeito do teor de proteína na mistura de farinha de mandioca e caseína sobre o croma a* dos produtos extrusados, sob temperatura de extrusão de 100°C e umidade nas misturas de 18%.

Tabela 7. Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o croma b* dos produtos extrusados (modelo ajustado).

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Média	23,96	0,77			
P	1,89	0,60	1	0,0062*	
T*T	-1,34	0,58	1	0,0346*	
U*U	-1,30	0,58	1	0,0395*	
R ²	0,5481				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Regressão	3	95,82	31,94	6,47	0,0045*
Resíduos	16	78,99	4,94		
Total	19	174,81			

P= teor de proteína; T= temperatura de extrusão; U= umidade das misturas; R²= coeficiente de determinação; GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; PR>F= probabilidade $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$.

* Significativo ao nível de 5%.

**Figura 3.** Efeito do teor de proteínas nas misturas de farinha de mandioca e caseína e da temperatura de extrusão sobre o croma b* dos produtos extrusados, com a umidade das misturas em 18%.

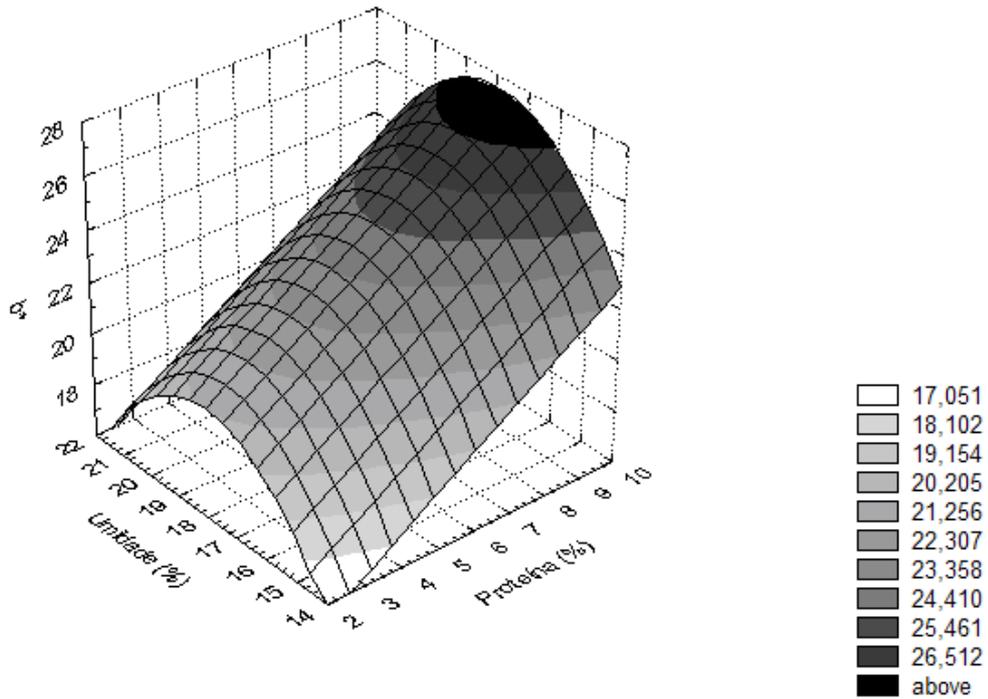


Figura 4. Efeito do teor de proteínas nas misturas de farinha de mandioca e caseína e da umidade sobre o coroma b* dos produtos extrusados, com a temperatura de extrusão em 100°C.

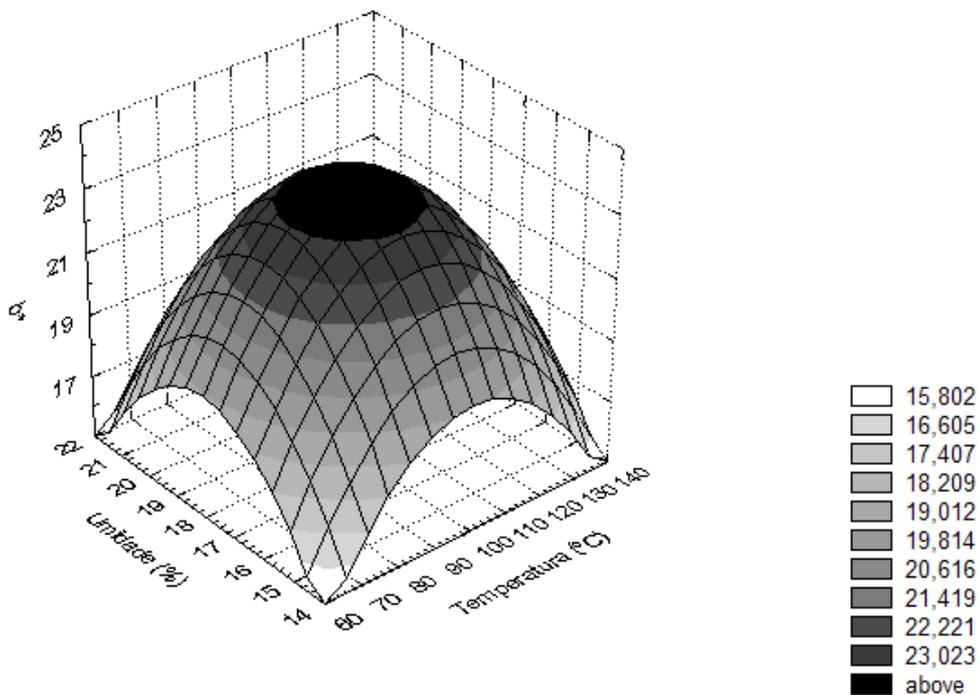


Figura 5. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre o coroma b* dos produtos extrusados, com 6% de proteína na mistura.

De acordo com Guy (2001) a cor dos produtos extrusados é influenciada pela temperatura, composição da matéria-prima, tempo de residência, pressão e força de cisalhamento.

A formação de cor durante o processo de extrusão proporciona importante informação a respeito do grau do tratamento térmico. A estabilidade da cor é uma das características de qualidade para alimentos extrusados, que são normalmente consumidos diretamente sem tratamento térmico posterior (SOUZA; LEONEL; MISCHAN, 2007).

Os resultados obtidos na análise de cor das misturas de farinha de mandioca e caseína, para os diferentes teores de proteína, antes do processo de extrusão, mostraram pequenas diferenças dos componentes de cor entre as misturas, sendo que em todas foram observadas elevada luminosidade ($L^* = 77,63$ a $80,36$), presença de vermelho (croma $a^{*+} = 2,68$ a $3,17$) e de amarelo (croma $b^{*+} = 15,25$ a $15,73$) em maior intensidade, com a influência significativa do teor de proteína na mistura. Considerando estes dados, após a extrusão os resultados para cor dos produtos mantiveram as mesmas características, ocorrendo um escurecimento comum em processos de extrusão.

Índice de expansão (IE)

O IE dos extrusados variou de 3,29 a 4,56. A análise dos dados mostrou efeito linear negativo da umidade, quadrático positivo dos fatores temperatura e umidade sobre a expansão e quadrático negativo do teor de proteína (Tabela 8).

A Figura 6 mostra um ponto mínimo, ou seja, nas condições intermediárias de temperatura e umidade o índice de expansão é menor. Já para a influência do teor de proteína e umidade das misturas, a superfície de resposta em formato de cela, mostra que o maior IE é observado nas condições de baixa umidade e teor médio de proteína (Figura 7). Maior IE também é observado nas condições de elevada temperatura e teor médio de proteína (Figura 8).

A expansão de materiais amiláceos é inversamente proporcional à umidade do material a ser extrusado. Segundo Ding et al. (2005), o aumento da umidade pode mudar a estrutura molecular da amilopectina do material amiláceo, reduzindo a viscosidade elástica, e diminuindo assim a expansão.

Tabela 8. Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o índice de expansão dos extrusados de farinha de mandioca e caseína (modelo ajustado).

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor	
Média	3,88355				
U	-0,12887	0,06038	1	0,0497*	
P*P	-0,10845	0,05877	1	0,0848	
T*T	0,17963	0,05877	1	0,0080*	
U*U	0,17256	0,05877	1	0,0102*	
R ²	0,6403				
ANOVA					
	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Regressão	4	1,32939	0,33235	6,68	0,0027*
Resíduos	15	0,74681	0,04979		
Total	19	2,07620			

P= teor de proteína; T= temperatura de extrusão; U= umidade das misturas; R² = coeficiente de determinação; GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; PR>F= probabilidade $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$.

* Significativo ao nível de 5%.

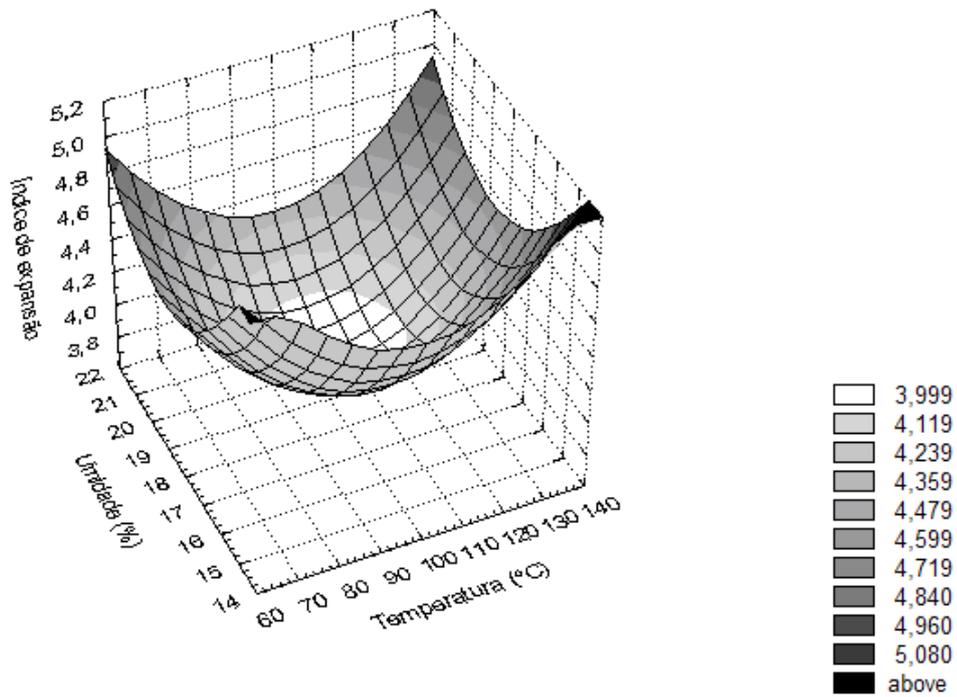


Figura 6. Efeito da umidade e da temperatura de extrusão sobre o índice de expansão dos produtos extrusados, com 6% de proteína.

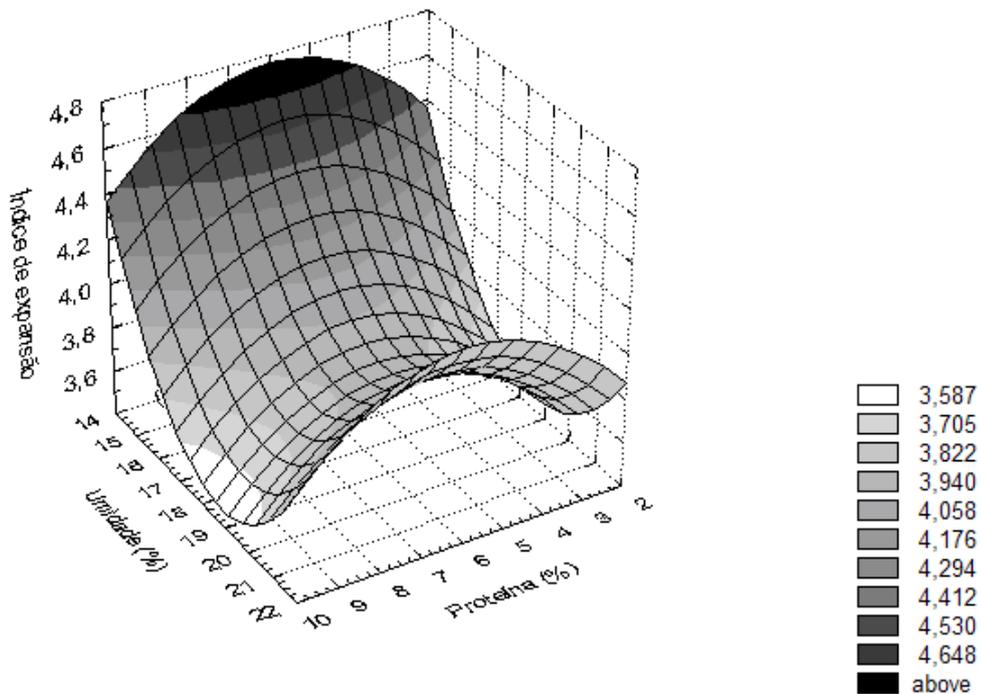


Figura 7. Efeito da umidade e do teor de proteína na mistura de farinha de mandioca e caseína sobre o índice de expansão dos produtos extrusados, com a temperatura de 100°C.

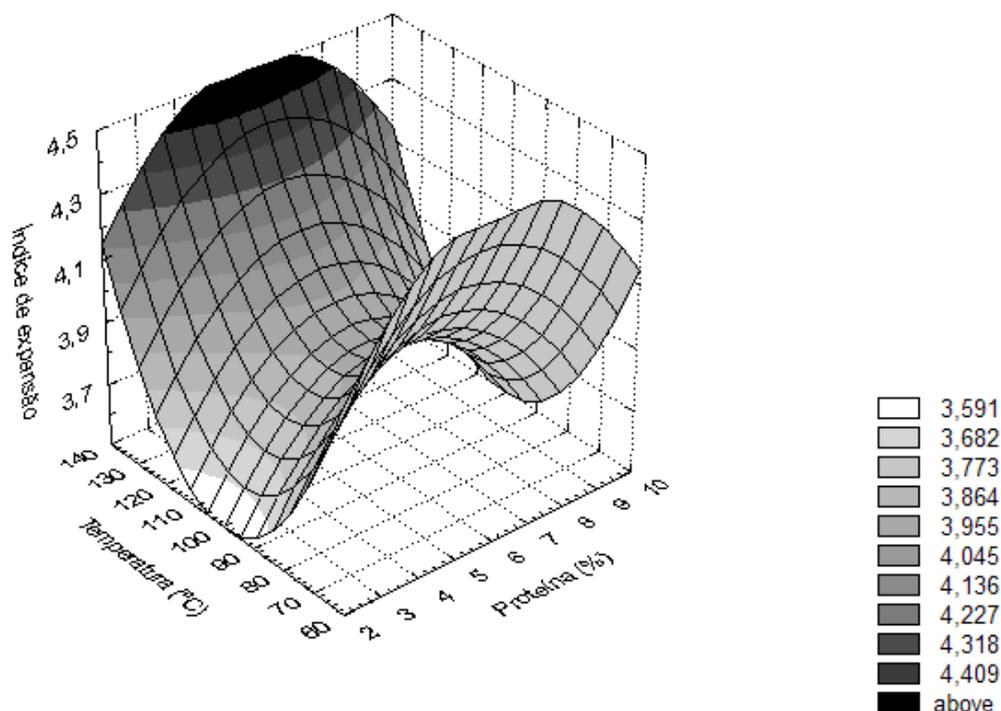


Figura 8. Efeito do teor de proteína na mistura de farinha de mandioca e caseína e da temperatura de extrusão sobre o índice de expansão dos produtos extrusados, com umidade de 18%.

Chang e El-Dash (2003) observaram o efeito da umidade (16 a 24%) e da temperatura (120 a 200°C) na expansão de produtos extrusados de fécula de mandioca. Com o aumento da temperatura de extrusão, sob baixa umidade e rotação de 100rpm, os produtos apresentaram elevado índice de expansão.

Em formulados de farinhas mistas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína, nas condições de menor temperatura (130°C) e mais alta umidade (30%) testadas, Alvim, Sgarbieri e Chang (2002), obtiveram os menores graus de expansão radial (GER), e os produtos apresentaram-se bastante escuros, duros e de aspecto irregular. Na faixa de umidade intermediária (25%), o GER e a operacionalidade do extrusor foram satisfatórios, porém, os produtos processados nessa umidade e na temperatura mais baixa (130°C) apresentaram aspecto bastante irregular, enquanto que na

temperatura de 170°C, tanto o GER, como o aspecto do produto, foram satisfatórios.

O elevado teor de amido da farinha de milho pura proporcionou um maior grau de expansão na extrusão. A adição de 10% de extrato diminuiu o GER, não somente em relação à farinha de milho extrusada, mas também em relação às demais misturas. A adição de 10% de caseína não afetou o GER, tanto na presença de extrato como de autolisado (ALVIM; SGARBIERI; CHANG, 2002).

Volume específico (VE)

O volume específico é uma medida da expansão volumétrica, que é a soma das expansões radial e axial. A análise dos coeficientes de regressão mostrou efeito quadrático da temperatura e da interação proteína e umidade sobre o VE (Tabela 9).

Tabela 9. Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o volume específico dos extrusados de farinha de mandioca e caseína (modelo ajustado).

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	P valor
Média	5,26052			
T*T	0,83097	0,37104	1	0,0388*
P*U	1,40250	0,50262	1	0,0126*
R ²	0,4296			

ANOVA					
	GL	SQ	QM	F valor	Pr>F
Regressão	2	25,87310	12,93655	6,40	0,0085*
Resíduos	17	34,35742	2,02102		
Total	19	60,23052			

P= teor de proteína; T= temperatura de extrusão; U= umidade das misturas; R²= coeficiente de determinação; GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; PR>F= probabilidade $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$.

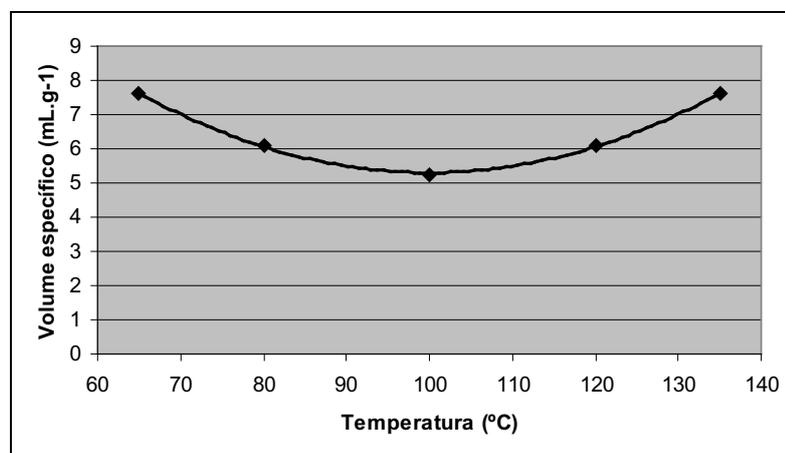
* Significativo ao nível de 5%.

O volume específico dos extrusados variou de 2,72 a 9,35 mL.g⁻¹. A análise dos dados mostrou ter ocorrido efeito quadrático positivo da temperatura de extrusão e da interação dos teores de proteína e umidade sobre o volume específico dos extrusados. Verificou-se que nas condições intermediárias de umidade, proteína e temperatura o volume específico dos extrusados foi menor (Figura 9).

Alves e Grossmann (2002) observaram que nas condições de 16% de umidade, temperatura de 170°C e diâmetro de matriz de 3mm obteve-se o maior volume específico (6,32 mL.g⁻¹) em *snacks*

de farinha de cará, inferior ao valor médio de *snacks* comerciais de milho (8,72 mL.g⁻¹).

Souza, Leonel e Mischan (2007), avaliando o efeito das condições de extrusão em produtos expandidos produzidos a partir de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica, observaram que o volume específico dos extrusados decresceu com o aumento da temperatura e umidade, variando de 1,71 mL.g⁻¹ a 8,54 mL.g⁻¹. O maior volume específico foi o obtido nas condições de 14% de umidade, 10% de fibras e temperatura de extrusão de 95°C e, o menor volume específico, foi o observado quando se manteve o teor de fibras e a temperatura de extrusão e elevou-se a umidade para 22%.

**Figura 9.** Efeito da temperatura de extrusão sobre o volume específico dos produtos, com a umidade de 18% e o teor de proteína de 6%.

Dureza

Um parâmetro de qualidade de grande importância na aceitação de produtos extrusados é a dureza, parâmetro de textura que fisicamente representa a força necessária para produzir uma deformação; enquanto que, sensorialmente, representa a força requerida para a compressão de uma substância entre os dentes (MEILGAARD; CICILLE; CARR, 1999).

A dureza dos produtos extrusados variou de 4,43Kgf a 12,32Kgf. A partir dos dados obtidos

para os diferentes ensaios realizados observou-se efeito quadrático negativo do teor de proteína, ou seja, maior volume específico nas condições intermediárias de proteína; efeito quadrático positivo da umidade nas misturas, com maior volume específico nas condições extremas de umidade; bem como, efeito significativo da interação destes fatores e da interação proteína e temperatura de extrusão, sobre este parâmetro de qualidade. Com a umidade constante em 18%, observou-se os menores valores de dureza nas condições extremas de temperatura e proteína (Tabela 10, Figuras 10 e 11).

Tabela 10. Coeficientes de regressão ajustados para dureza e ANOVA.

Fatores	Coefficientes de regressão	Erro padrão (residual)	F valor	Pr>F
Média	8,36	0,37	517,09	<0,0001
P*P	-0,59	0,28	4,58	0,0493
U*U	0,72	0,28	6,69	0,0206
P*T	-1,36	0,37	13,13	0,0025
P*U	-1,39	0,37	13,67	0,0022
R ²	0,723			
ANOVA				
Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	60,66	4,33	56,05*
Regressão	4	44,14	11,03	142,76*
Falta de ajuste	10	16,52	1,65	21,37
Erro puro	5	0,39	0,08	
Total	19	61,04		

As condições de baixa umidade, baixo teor de proteína e baixa temperatura de extrusão, testadas neste experimento, proporcionaram menores valores de dureza, o que é desejado para este tipo de produto.

De acordo com Ding et al. (2005), com o aumento do teor de umidade, ocorre redução da

viscosidade da massa, a gelatinização do amido é reduzida e o crescimento das bolhas é suprimido, resultando em produto mais denso. Já o aumento da temperatura de extrusão diminui a viscosidade do material fundido, favorece o crescimento das bolhas e produz “snacks” de baixa densidade e elevada crocância (baixa dureza).

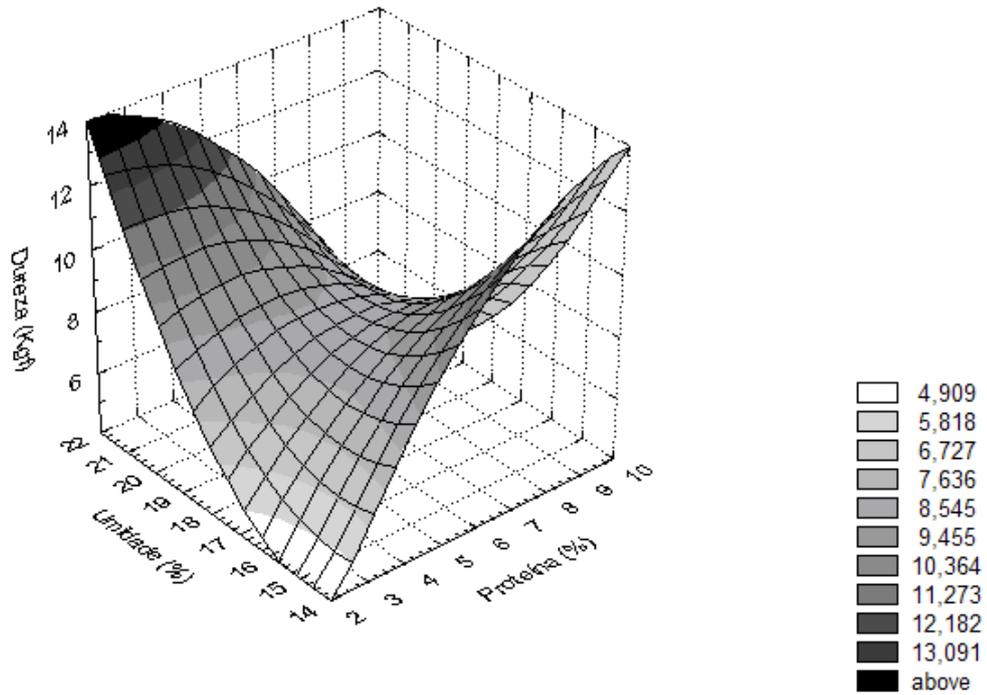


Figura 10. Efeito da umidade e do teor de proteína sobre a dureza dos produtos extrusados, com temperatura de extrusão de 100°C.

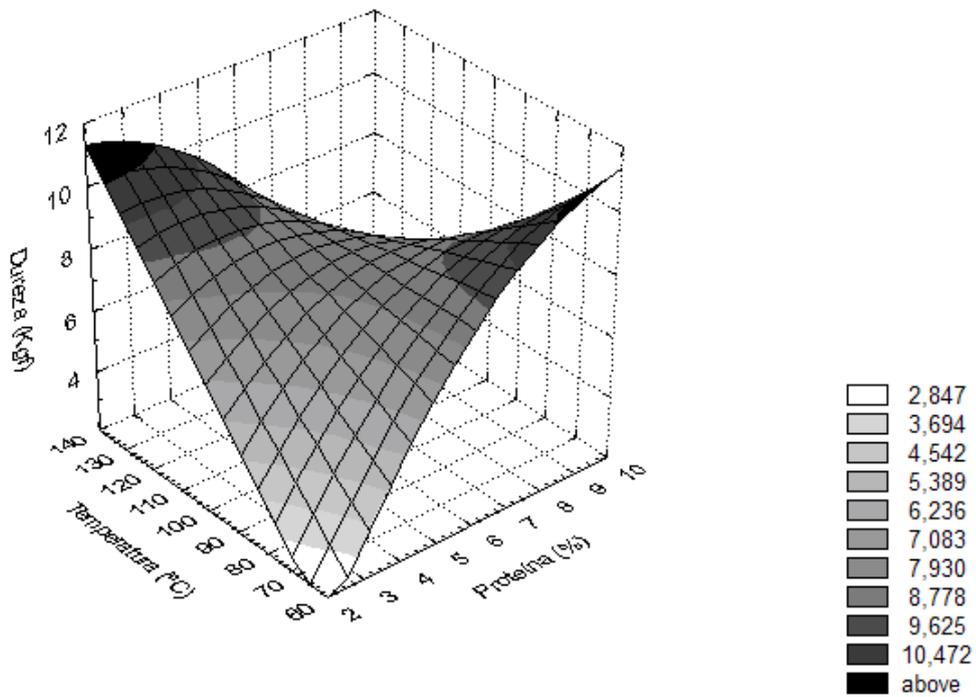


Figura 11. Efeito da temperatura e do teor de proteína sobre a dureza dos produtos extrusados, com 18% de umidade.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que:

- as condições operacionais de extrusão afetaram as características de cor, índice de expansão, volume específico e dureza dos produtos expandidos, com o teor de proteína afetando de forma mais significativa;

- nas condições de menor umidade, teor de proteína e temperatura de extrusão foram obtidos produtos claros, com maior expansão e volume específico, e menor dureza, características desejadas em produtos expandidos.

Agradecimento

As autoras agradecem o auxílio financeiro recebido da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Referências

ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E. Parâmetros de extrusão para produção de “snacks” de farinha de cará (*Dioscorea alata*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.22, n. 1, p. 32-38, jan./abr. 2002.

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

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists*. 7th ed. St. Paul: AACC, 1983.

BARROS, G. S. C. (Coord.) *Melhoria da competitividade da cadeia agroindustrial da mandioca no Estado de São Paulo*. São Paulo: SEBRAE, Piracicaba: CEPEA, 2004. 347 p.

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

CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 129-137, 2003.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. *Experimental designs*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1957. p. 396-399.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 23 ago. 2006.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 66, n. 3, p. 283-289, 2005.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High temperature and time. Extrusion-cooking of wheat starch and flour. I-Effect of moisture and flour type on extrudate properties. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.

FOX, P. F. The milk protein system. In: FOX, P. F. (Ed.). *Developments in dairy chemistry*. 4. ed. London: Elsevier, 1989. p. 1-55.

GIESE, J. Proteins as ingredients: types, functions, applications. *Food Technology*, Chicago, v. 48, n. 10, p. 50-60, 1994.

GUY, R. Raw materials for extrusion cooking. In: GUY, R. *Extrusion cooking*. Boca Raton: Woodhead, 2001. cap. 2, p. 5-28.

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

LEORO, M. G. V. *Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de milho e farelo de maracujá*. Campinas: UNICAMP, 2007.

MEILGAARD, M.; CICILLE, G. V.; CARR, B. T. *Sensory evaluation techniques*. 3th ed. Boca Raton: CRC Press, 1999. 387 p.

ROMAN, J. A.; SGARBIERI, V. C. Obtenção e caracterização química e nutricional de diferentes concentrados de caseína. *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 18, n. 1, p. 75-83, 2005.

SAS INSTITUTE INCORPORATION. *The SAS for Windows, release 9.1*. Cary: SAS, 2003.

SOUZA, L. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Efeitos dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de

extrusados de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. *Alimentos e Nutrição*, Araraquara, v. 18, n. 1, p. 83-91, 2007.

STATSOFT INCORPORATION. *Statistic for Windows, release 5.0*. Tulsa: StatSoft Incorporation, 1995.