

PROPRIEDADES DE PASTA E TÉRMICAS DE MISTURAS INSTANTÂNEAS DE FARINHA DE SOJA, FÉCULA E FARELO DE MANDIOCA

FERNANDA ROSSI MORETTI TROMBINI¹ & MAGALI LEONEL²

RESUMO: A aplicação da tecnologia de extrusão na indústria alimentícia tem possibilitado a elaboração de novos produtos comerciais de rápido preparo, e que mantêm as características nutricionais após o processo. Durante o processo tecnológico, a matéria-prima sofre modificações devido às ações da temperatura, umidade e fricção mecânica resultando em um produto modificado para aplicações em alimentos. Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito da composição da matéria-prima e das condições operacionais do processo de extrusão sobre as propriedades de pasta e térmicas na produção de uma farinha instantânea funcional de mandioca e soja. Os resultados obtidos mostraram efeitos significativos de todos os parâmetros operacionais sobre as propriedades reológicas estudadas. As farinhas extrusadas não mostraram entalpia de gelatinização residual, sugerindo que todo o amido presente nas amostras foi gelatinizado. As condições de menores porcentagens de farelo de mandioca (10%), maiores de farinha de soja (25%) misturados a fécula de mandioca, temperatura de 75°C e rotação da rosca (190rpm) permitiram a obtenção de farinha instantânea com propriedades térmicas e de pasta desejadas para farinhas instantâneas de uso alimentar.

Palavras-chave: Extrusão, amido, viscosidade.

¹ Mestre em Energia na Agricultura, FCA/UNESP - Botucatu-SP nandamoretti@yahoo.com.br

² Orientadora Profa. Dra., CERAT/UNESP - Botucatu-SP mleonel@fca.unesp.br

PASTE AND THERMAL PROPERTIES OF INSTANT MIXTURES OF SOYBEAN FLOUR, CASSAVA STARCH AND FIBROUS RESIDUE

SUMMARY: *The application of extrusion technology in the food industry has enabled the development of new commercial products of fast preparation, and maintaining the nutritional characteristics after the process. During this process there are changes in raw material due to the action of temperature, humidity and mechanical friction resulting in a modified product which can be used in various industrial applications. This work aimed to evaluate the effect of the composition of the raw material and operating conditions of the extrusion process on the properties of paste and thermal properties in the development of a functional instant flour of cassava and soybean. The results showed significant effects of all operating parameters on the rheological properties studied. The extruded flours showed no residual gelatinization enthalpy, suggesting that the starch in the samples was gelatinized. The experimental conditions of the smallest percentages of cassava residue (10%) and high soybean flour (25%) mixed with cassava starch, extrusion temperature of 75°C and low screw speed (170rpm) leads to obtain instant flour with desirable characteristics.*

Keywords: *Extrusion, cassava, viscosity.*

1 INTRODUÇÃO

O processo de extrusão em alimentos converte um material sólido em pasta pela aplicação de calor e trabalho mecânico e extrusá-lo através de uma matriz que confere formato ao material expandido. O processo promove a gelatinização do amido, a desnaturação e re-orientação das proteínas, a inativação enzimática, a inibição das proteases, e a diminuição da contagem microbiana para formar um produto expandido de características físicas e geométricas pré-determinadas. Além disso, proporciona a hidratação de amidos e proteínas, homogeneização, cisalhamento, fundimento de gorduras, plastificação e expansão da estrutura alimentar (FELLOWS, 2006).

Segundo Gutkoski (2000), dentre as aplicações da extrusão em alimentos, pode-se citar a produção de cereais matinais e expandidos, farinhas e amido pré-gelatinizados, produtos texturizados, produtos de confeitaria, bebidas, alimentos ricos em fibras. O processo pode também promover a inativação de

fatores anti-nutricionais e enzimáticos. Além do que, a brevidade do tratamento térmico reduz o dano a nutrientes termo-sensíveis como certos aminoácidos e vitaminas.

Os dois principais fatores que influenciam nas características dos produtos extrusados são: as características das matérias-primas e as condições operacionais do extrusor. Como principais características para a matéria-prima são destacadas: tipo de material, teor de umidade, estado físico, composição química (teores e tipos de amidos, proteínas, fibras, gorduras e açúcares) e pH do material. Como parâmetros operacionais são apontados como importantes: temperatura, pressão, diâmetro da matriz e taxa de cisalhamento, sendo esta última influenciada pelo desenho interno do extrusor e pelo seu comprimento; além da velocidade e geometria da (s) rosca (s) (FELLOWS, 2006).

A viscosidade de pasta de produtos extrusados é uma das propriedades mais importantes de misturas instantâneas. A curva de viscosidade representa o comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada, devido às modificações estruturais das moléculas de amido, e de outros componentes. O amido extrusado, de acordo com as condições do processo, sofre transformações químicas que causam intumescimento e ruptura dos grânulos, modificações das estruturas cristalinas, e provocam solubilidade e viscosidade em água fria (EL-DASH, 1982).

Para Colonna et al. (1984), em comparação com produtos submetidos a outros tratamentos térmicos, a principal desvantagem dos amidos extrusados é a sua reduzida viscosidade de pasta. Em contraste, sua rápida dispersão em água quente para formar produtos de várias consistências permite o uso comercial desta técnica para a produção de alimentos instantâneos.

A produção de farinhas instantâneas funcionais a base de mandioca pelo processo de extrusão tem obtido grande interesse das indústrias processadoras de mandioca, devido ao baixo conteúdo protéico de seus produtos e a possibilidade da mistura com derivados da soja. A demanda por alimentos derivados de soja tem aumentado devido às informações sobre os benefícios à saúde atribuídos ao seu consumo. Outra possibilidade de incremento no desenvolvimento de misturas instantâneas seria o aproveitamento do resíduo fibroso do processamento de mandioca para a obtenção de fécula. Segundo Lebourg (1996), o balanço de massa em uma fecularia brasileira que processa em torno de 200 toneladas de raízes/dia é 254,7 kg de fécula e 928,6 kg de farelo úmido (85% de umidade) para cada tonelada de raiz de mandioca processada. Esse resíduo sólido, após seco, tem, em média, a composição 10% de umidade, 15% de fibras e 75% de amido (LEONEL; CEREDA, 2000).

Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da composição da matéria-prima e das condições operacionais do processo de extrusão sobre as propriedades de pasta e térmicas no desenvolvimento de uma farinha instantânea funcional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Preparo das amostras

Foram utilizadas como matérias-primas comerciais, farinha de soja, fécula de mandioca, e farelo de mandioca. As matérias-primas foram caracterizadas quanto à umidade, proteína, lipídeos, cinzas, fibras, açúcares solúveis totais, amido, pH e acidez titulável (AACC, 1983). Foram preparadas 700 g de misturas de fécula, farelo de mandioca e farinha de soja, nas proporções do delineamento experimental (Tabela 1). A quantidade de fécula de mandioca nas misturas variou de acordo com as porcentagens que foram testadas para o farelo de mandioca e farinha de soja completando 100%. As matérias-primas foram misturadas em batedeira doméstica.

2.2. Condicionamento das misturas

Foi necessário o ajuste da umidade das misturas para o parâmetro fixo de 17%. Este condicionamento foi realizado com água destilada adicionada lentamente com pipeta e mantendo agitação constante na batedeira por 5 minutos. A quantidade de água que foi adicionada às amostras foi calculada pela equação:

$$Y = (U_f - U_i) \times P_a / 100 - U_f$$

Onde:

Y = quantidade de água a ser adicionada (ml);

U_f = umidade final da amostra;

U_i = umidade inicial da amostra;

P_a = peso da amostra (g);

2.3. Extrusão

A extrusão foi efetuada em uma linha completa de extrusão IMBRA RX da Inbramaq S/A, com o canhão de extrusão composto por 3 zonas de aquecimento elétrico. Os parâmetros variáveis foram: temperatura de extrusão na terceira zona (T), porcentagem de farelo de mandioca (%FM), porcentagem de farinha de soja (%FS), rotação (R). Já os parâmetros fixos empregados no processo de extrusão foram: umidade das misturas (17%); taxa de compressão da rosca 3:1, taxa de alimentação de 200g/min, abertura da matriz (3mm), temperatura de 25°C na 1ª zona e 50°C na 2ª zona.

2.4. Delineamento experimental

O processo seguiu o delineamento “central composto rotacional” para quatro fatores, segundo Cochran e Cox (1957), com um total de 25 tratamentos, a saber: 16 tratamentos correspondentes ao fatorial 2^4 , sendo os quatro fatores: R = rotação da rosca (rpm); T = temperatura na 3ª zona (°C), FM = farelo de mandioca (%) e FS = farinha de soja (%), cada qual em dois níveis, codificados como -1 e +1;

Oito tratamentos com níveis mínimo e máximo de cada fator, codificados como $-\alpha$ e $+\alpha$, respectivamente, sendo $\alpha = 2^{4/4} = 2$. Um tratamento central repetido 6 vezes, onde os fatores estão todos em um nível médio, codificado como zero (Tabela 1).

2.5. Análises das farinhas instantâneas

Os extrusados expandidos foram moídos em moinho de faca da marca Marconi e acondicionados em embalagens plásticas.

2.6. Propriedades de pasta

Para a análise das propriedades de pasta das misturas antes e após a extrusão foi utilizado o Rapid Visco Analyser (RVA). As suspensões de amostras (3,5g amostra em 25mL de água) foram corrigidas para a base de 15% de umidade e passaram pelo programa de tempo e temperatura *Extrusion 1* do software *Thermocline for Windows*, versão 2.2. Foram avaliadas as seguintes características: temperatura de pasta, viscosidade máxima (pico), queda de viscosidade ou “breakdown” (diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade da pasta mantida a 95°C por 5 minutos), viscosidade final e tendência a retrogradação (diferença entre a viscosidade final e a viscosidade da pasta a 50°C por 5 minutos). A viscosidade foi expressa em RVU (Rapid Visco Analyser) (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

Tabela 1 - Parâmetros variáveis do processo de extrusão.

Níveis		Fatores ou variáveis independentes			
Axiais	Codificados	FM	FS	T	R
- α	-2	10	10	45	190
	-1	15	15	60	210
	0	20	20	75	230
	+1	25	25	90	250
+ α	+2	30	30	105	270

FM: farelo de mandioca (%); FS: Farinha de soja (%); T: Temperatura de extrusão (°C); R: rotação da rosca (rpm).

2.7. Propriedades térmicas

As propriedades térmicas foram analisadas utilizando-se um calorímetro diferencial de varredura (DSC) Pyris 1 (Perkin Elmer, USA). Amostras das misturas e farinhas (4 mg base seca) foram pesadas em cadinhos de alumínio, misturadas com água destilada (12 µl) e seladas. Os cadinhos foram mantidos à temperatura ambiente, por 2h, para equilíbrio e aquecidos a uma razão de 5°C min⁻¹ de 25 a 100°C. Um cadinho vazio foi usado como referência. As temperaturas de gelatinização (inicial, de pico e final) e a variação de entalpia (ΔH) das misturas e das farinhas foram determinadas utilizando-se o *software* Pyris 1 da Perkin Elmer, USA.

2.8. Análise dos dados

A metodologia de superfície de resposta foi utilizada com o software STATISTICA versão 5.5. Na construção das superfícies, uma das variáveis independentes foi mantida fixa no ponto central, enquanto as outras duas variaram dentro das regiões propostas no planejamento. O ajuste do modelo foi feito com o auxílio do programa SAS, e o modelo obtido foi avaliado pela análise de variância (ANOVA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades de pasta das misturas antes do processo de extrusão

Na presença de água e calor os grânulos de amido expandem-se, e a temperatura de gelatinização é atingida formando uma pasta. A viscosidade inicial (VI) a 25°C, também chamada de viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das misturas absorverem água a temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso.

Tabela 2- Propriedades de pasta das matérias-primas e suas misturas.

Matérias-primas				Propriedades de pasta (RVU)				
				VI	PV	QV	VF	TR
		Fécula		0,00	421,42	223,00	299,17	100,75
		Farelo		0,00	125,67	17,09	163,08	54,50
		Soja		22,00	5,17	3,67	2,17	0,67

Misturas	Fécula (%)	Farelo (%)	Soja (%)	VI	PV	QV	VF	TR
1	1	70	15	2,67c	234,32b	105,90b	297,58a	169,16a
2	2	60	25	4,83a	200,67d	85,59c	274,58b	159,50b
3	3	60	15	2,92c	158,58f	56,91e	231,50d	129,83cd
4	4	50	25	3,17b	135,67g	48,84f	210,50f	123,67e
5	5	70	10	1,42d	210,83c	86,58c	281,42b	157,17b
6	6	50	30	3,00b	153,33f	57,00e	222,08e	125,75de
7	7	70	20	2,25c	263,50a	121,75a	243,00c	101,25g
8	8	50	20	4,58a	116,08h	32,25g	194,56g	110,73f
9	9	60	20	4,17a	176,58e	66,58d	243,00c	133,00c

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. VI: viscosidade inicial;

Pv: pico de viscosidade; QV: quebra de viscosidade; VF: viscosidade final; TR: tendência a retrogradação, RVU: Rapid Visco Analyser.

Os resultados obtidos para as propriedades de pasta das matérias-primas (Tabela 2) mostraram que a farinha de soja apresentou a maior viscosidade inicial (VI). A fécula de mandioca mostrou os maiores valores de pico de viscosidade (PV), quebra (QV), viscosidade final (VF) e tendência a retrogradação (TR), o que indica a presença de grânulos intactos e baixa resistência à elevada temperatura e agitação (Tabela 2). O farelo, quando comparado com a fécula, mostrou menores valores de propriedades de pasta, o que pode ser devido à elevada presença de fibras. As fibras solúveis formam uma rede de gel ou uma rede viscosa, em determinadas condições físico-químicas, e desta forma ligam água, o que aumenta a capacidade de retenção de água e a absorção lipídica (THEBAUDIN et al., 1997).

A análise das propriedades de pasta das misturas evidenciou diferenças significativas entre cada

parâmetro (Tabela 2). Na mistura 8 em que se utilizou a maior porcentagem de farinha de soja, observou-se viscosidade a frio, baixo pico de viscosidade, provavelmente devido à ligação da água com as moléculas de proteína, baixa quebra de viscosidade e baixa viscosidade final. As maiores viscosidade final e tendência a retrogradação foram observadas na mistura 1.

3.2. Propriedades térmicas das misturas

A análise dos dados mostrou ter ocorrido diferença significativa para a temperatura de pico e entalpia de gelatinização entre as misturas 5 e 8 (Tabela 3). Estes resultados evidenciam a interferência das quantidades de amido nas misturas.

Tabela 3- Propriedades térmicas das misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca.

Misturas	Matérias-primas			Temperatura de gelatinização (°C)			
	Fécula (%)	Farelo de mandioca (%)	Farinha de soja (%)	Ti	Tp	Tf	ΔH (J/g)
1	70	15	15	59,58a	67,53ab	74,03a	8,60ab
2	60	25	15	59,60a	67,27ab	73,56a	8,20abc
3	60	15	25	59,95a	67,57ab	74,00a	7,78abc
4	50	25	25	60,81a	67,69ab	73,91a	7,12bc
5	70	10	20	59,30a	67,23b	73,85a	9,05a
6	50	30	20	60,02a	67,66ab	73,93a	7,28bc
7	70	20	10	59,95a	67,41ab	73,84a	8,98a
8	50	20	30	60,46a	67,91a	74,36a	6,95c
9	60	20	20	59,94a	67,68ab	73,99a	8,23abc

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Ti: temperatura inicial; Tp: temperatura de pico; Tf: temperatura final; ΔH: variação de entalpia.

Os valores observados para a temperatura inicial (60,81 a 59,30°C), temperatura de pico (67,9 a 67,23°C) e temperatura final (74,36 a 73,56°C) foram muito próximos aos encontrados por Lustosa et al., (2009) para farinha de mandioca (64,26, 68,08 e 72,82°C para Ti, Tp e Tf, respectivamente), tendo uma diferença um pouco maior a temperatura inicial.

A entalpia de gelatinização das misturas (9,05 a 6,9 J/g) foi inferior à relatada por Lustosa et al., (2009) para farinha de mandioca (9,79 J/g) e também a aquela encontrada por Jane et al., (1999) para amido nativo de mandioca (14,7 J/g), o que pode ser devido à presença de proteína e os demais componentes das misturas.

3.3. Propriedades de pasta das misturas após o processo de extrusão

As propriedades de pasta de farinhas extrusadas assumem grande importância quando as misturas secas pré-gelatinizadas por extrusão são utilizadas em alimentos para espessamento (BHATTACHARYA, SUDHA, & RABIN, 1999).

A viscosidade inicial ou viscosidade de pasta a frio indica a capacidade das farinhas em absorver água a temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso (CARVALHO et al., 2002). Os resultados obtidos nas farinhas extrusadas de fécula e farelo de mandioca e farinha de soja, para este parâmetro variaram de 7,25 a 62,08 RVU (Tabela 4).

A análise dos coeficientes de regressão mostrou ter ocorrido influência significativa de todos os fatores sobre a viscosidade inicial (VI) dos produtos extrusados (Tabela 5). Mantendo a temperatura à 75°C e variando a proporção de farinha de soja em maior quantidade, a viscosidade inicial é maior, enquanto que, o aumento de farelo de mandioca na mesma temperatura e rotação a viscosidade inicial é menor (Figura 1).

Tabela 4- Propriedades de pasta das misturas extrusadas nos diferentes tratamentos.

Trat.	Níveis codificados				Variáveis independentes				Variáveis dependentes				
	X1	X2	X3	X4	FM	FS	T	R	VI	PV	QV	VF	TR
1	-1	-1	-1	-1	15	15	60	210	21,42	25,92	18,50	8,00	0,58
2	1	-1	-1	-1	25	15	60	210	29,58	28,83	21,16	10,92	3,25
3	-1	1	-1	-1	15	25	60	210	49,08	42,92	35,75	13,08	5,91
4	1	1	-1	-1	25	25	60	210	16,50	23,33	15,16	8,42	0,25
5	-1	-1	1	-1	15	15	90	210	34,42	30,58	23,58	8,42	1,42
6	1	-1	1	-1	25	15	90	210	28,08	27,08	22,75	7,08	2,75
7	-1	1	1	-1	15	25	90	210	25,83	28,17	18,25	11,75	1,83
8	1	1	1	-1	25	25	90	210	27,17	26,75	24,25	5,08	2,58
9	-1	-1	-1	1	15	15	60	250	27,92	32,25	23,67	13,33	4,75
10	1	-1	-1	1	25	15	60	250	32,83	31,33	26,00	8,92	3,59
11	-1	1	-1	1	15	25	60	250	15,75	18,92	14,65	5,58	0,91
12	1	1	-1	1	25	25	60	250	18,00	20,83	14,50	6,33	0,00
13	-1	-1	1	1	15	15	90	250	35,00	39,58	29,25	12,25	2,92
14	1	-1	1	1	25	15	90	250	32,83	31,92	30,16	6,33	3,66
15	-1	1	1	1	15	25	90	250	11,00	16,75	11,58	6,50	1,33
16	1	1	1	1	25	25	90	250	18,33	20,08	10,75	10,08	0,75
17	-2	0	0	0	10	20	75	230	40,67	41,92	34,17	13,33	5,58
18	2	0	0	0	30	20	75	230	14,42	21,33	11,58	10,75	1,00
19	0	-2	0	0	20	10	75	230	62,08	73,67	65,84	15,42	7,59
20	0	2	0	0	20	30	75	230	7,25	14,5	8,75	6,25	0,50
21	0	0	-2	0	20	20	45	230	18,00	18,25	13,58	6,33	1,66
22	0	0	2	0	20	20	105	230	22,17	26,67	20,25	8,67	2,25
23	0	0	0	-2	20	20	75	190	14,75	114,92	108,42	7,00	0,50
24	0	0	0	2	20	20	75	270	14,08	25,92	18,00	8,17	0,25
25	0	0	0	0	20	20	75	230	16,25	28,92	19,50	8,67	0,25
25	0	0	0	0	20	20	75	230	15,33	28,75	20,83	8,17	0,25
25	0	0	0	0	20	20	75	230	16,92	29,54	22,25	7,6	0,31
25	0	0	0	0	20	20	75	230	17,42	29,62	22,34	7,63	0,35
25	0	0	0	0	20	20	75	230	15,58	29,33	20,98	8,04	0,31
25	0	0	0	0	20	20	75	230	15,83	29,17	20,22	9,23	0,28

X1: farelo de mandioca (%); X2: farinha de soja (%); X3: temperatura na 3ª zona do extrusor (°C); X4: rotação da rosca (rpm); VI: viscosidade inicial (RVU); PV: pico de viscosidade (RVU); QV: quebra de viscosidade (RVU); VF: viscosidade final (RVU); TR: tendência a retrogradação (RVU) .

Nas condições de elevada rotação e baixa porcentagem de farinha de soja na mistura, a viscosidade inicial das farinhas extrusadas é maior de acordo com a superfície de resposta traçada a partir do modelo ajustado (Figura 2).

Tabela 5- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a viscosidade inicial das misturas extrusadas (modelo ajustado).

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	<i>p</i> valor		
Média	17,50					
Farinha de soja (L)	-7,09	1,724	1	0,0004		
Farelo de mandioca (Q)	3,05	1,584	1	0,0652		
Farinha de soja (Q)	4,83	1,584	1	0,0053		
Farinha de soja x rotação	-4,41	2,111	1	0,0471		
R ²	0,57					
ANOVA						
	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado	Pr>F
Regressão	4	2364,10	591,02	8,28	2,80	0,0002
Resíduos	25	4148,10	71,36			
Total	29					

Nas amostras extrusadas, o amido está gelatinizado, e torna possível a rápida hidratação dos grânulos a temperatura ambiente, sendo importante em produtos em que se deseja maior viscosidade a frio. No caso de tratamentos de extrusão pouco severos, determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea, apresentando um pico no perfil amilográfico, que significa amido não gelatinizado ou parcialmente gelatinizado (GUHA, ALI & BHATTACHARYA, 1998).

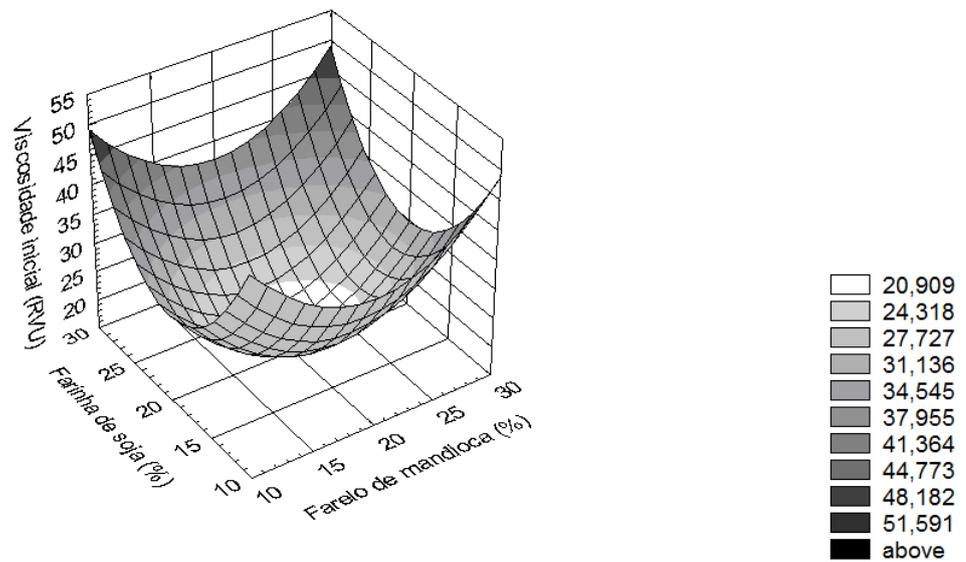


Figura 1 – Efeito da porcentagem de farinha de soja e farelo de mandioca na mistura sobre a viscosidade inicial das misturas extrusadas, sob temperatura de extrusão de 75°C e rotação de 230rpm

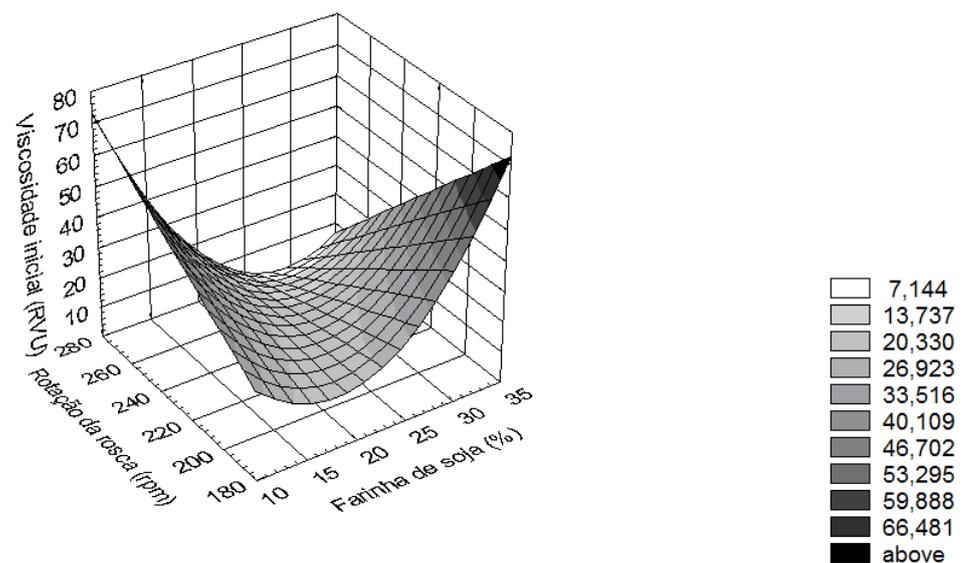


Figura 2 – Efeito da porcentagem de farinha de soja na mistura e da rotação da rosca sobre a viscosidade inicial das misturas extrusadas, sob temperatura de extrusão de 75°C e 20% de farelo de mandioca na mistura.

O pico de viscosidade se refere à viscosidade obtida após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento da suspensão no viscoamilógrafo. Os resultados obtidos para o pico de viscosidade (PV) dos produtos extrusados nas diferentes condições de processo variaram de 14,5 a 114,92 RVU (Tabela 4). A análise dos coeficientes de regressão mostrou ter havido influência significativa do teor de farinha de soja e da rotação (Tabela 6).

Tabela 6 - Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para o pico de viscosidade das misturas extrusadas.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	<i>p</i> valor		
Média	25,19					
Farinha de soja (L)	-7,003	2,9924	1	0,0272		
Rotação (L)	-8,3300	2,9924	1	0,0099		
Rotação (Q)	8,4167	2,7317	1	0,0048		
R ²	0,4663					
ANOVA						
	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado	Pr>F
Regressão	3	4882,65	1627,55	7,57	3,37	0,0008
Resíduos	26	5587,50	214,90			
Total	29	10470,15				

Nas condições intermediárias de farinha de soja, farelo de mandioca e elevada rotação da rosca são observados os menores picos de viscosidade de acordo com a superfície de resposta traçada a partir do modelo ajustado (Figura 3).

A proteína pode atuar como uma barreira física para o intumescimento do amido, uma vez que os grânulos de amido são encaixados na matriz de proteína. Dessa forma, observa-se que, misturas contendo maiores teores de proteína presente na farinha de soja, resultam em menor pico de viscosidade.

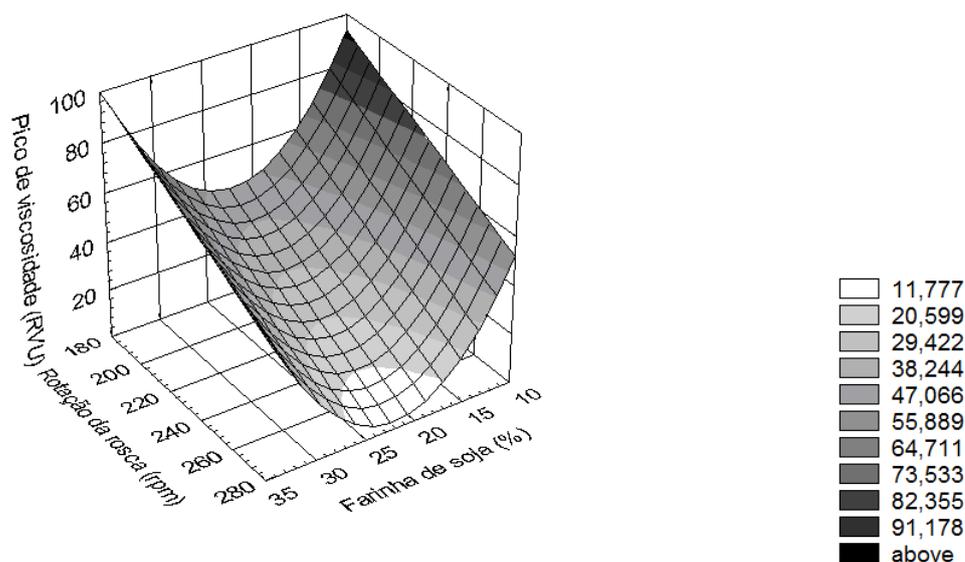


Figura 3 – Efeito da porcentagem de farinha de soja na mistura e da rotação da rosca sobre o pico de viscosidade das misturas extrusadas, sob temperatura de extrusão de 75°C e 20% de farelo de mandioca na mistura.

A quebra de viscosidade representa a diferença entre o pico de viscosidade e o menor valor de viscosidade após o pico no perfil amilográfico. Através desta propriedade é possível avaliar a estabilidade em altas temperaturas, sob agitação mecânica.

Os resultados para a quebra de viscosidade (QV) variou de 8,75 a 108,42 RVU (Tabela 4). A análise dos coeficientes de regressão mostrou terem ocorrido efeitos significativos da rotação e do teor de farinha de soja (Tabela 7). Menores valores de quebra de viscosidade são observados nas condições intermediárias de farinha de soja e elevada rotação da rosca (Figura 4).

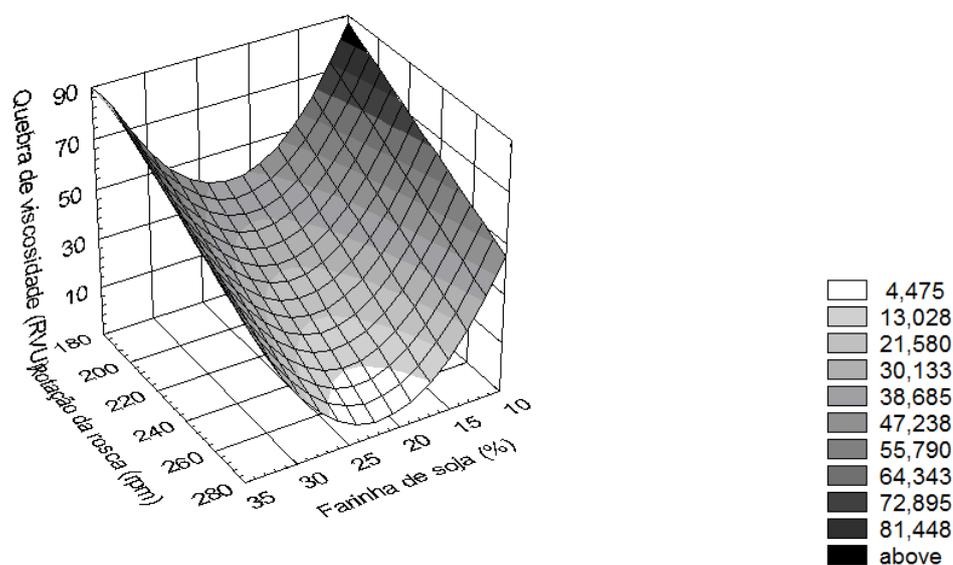
A viscosidade final (VF) é uma característica, que em produtos extrusados, vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e das moléculas durante o processamento.

A viscosidade final das misturas extrusadas variou de 6,25 a 15,42 RVU (Tabela 4). Considerando a variação observada, a análise de regressão mostrou terem ocorrido efeitos significativos dos teores de farelo de mandioca e farinha de soja, bem como da interação farinha de soja e rotação (Tabela 7).

Tabela 7- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a quebra de viscosidade das misturas extrusadas.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	<i>p</i> valor
Média	17,99			
Farinha de soja (L)	-6,85	2,969	1	0,0293
Rotação (L)	-8,32	2,969	1	0,0095
Rotação (Q)	8,62	2,710	1	0,0038
R ²	0,4725			

ANOVA						
	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado	Pr>F
Regressão	3	4927,72	1642,57	7,76	3,37	0,0007
Resíduos	26	5500,79	211,57			
Total	29	10428,51				

**Figura 4** – Efeito da porcentagem de farinha de soja na mistura e da rotação da rosca sobre a quebra de viscosidade das misturas extrusadas, sob temperatura de extrusão de 75°C e 20% de farelo de mandioca na mistura.

Valores superiores aos obtidos neste trabalho foram verificados por Bhattacharya et al. (1999) que observaram viscosidade final em misturas de farinha de trigo e batata após a extrusão variando a VF entre 18 a 11 RVU, nas diferentes condições empregadas.

Tabela 8- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a viscosidade final das misturas extrusadas (modelo ajustado).

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	<i>p</i> valor		
Média	8,23					
Farelo de mandioca (L)	-0,87	0,4354	1	0,0563		
Farinha de soja (L)	-1,11	0,4354	1	0,0168		
Farelo de mandioca (Q)	0,85	0,3974	1	0,0421		
Farinha de soja x rotação	-1,02	0,5332	1	0,0684		
R^2						
ANOVA						
	GL	SQ	QM	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	$Pr>F$
Regressão	4	85,4677	21,37	4,70	2,76	0,0058
Resíduos	25	113,73	4,55			
Total	29	199,20				

Analisando a Figura 5, observou-se que os menores valores de VF foram obtidos com o aumento da rotação e da farinha de soja. Maiores viscosidades finais são obtidas nas condições de menores porcentagens de farelo de mandioca e farinha de soja nas misturas, evidenciando a influência do teor de proteína e fibras sobre as propriedades de pasta antes e após a extrusão (Figura 6).

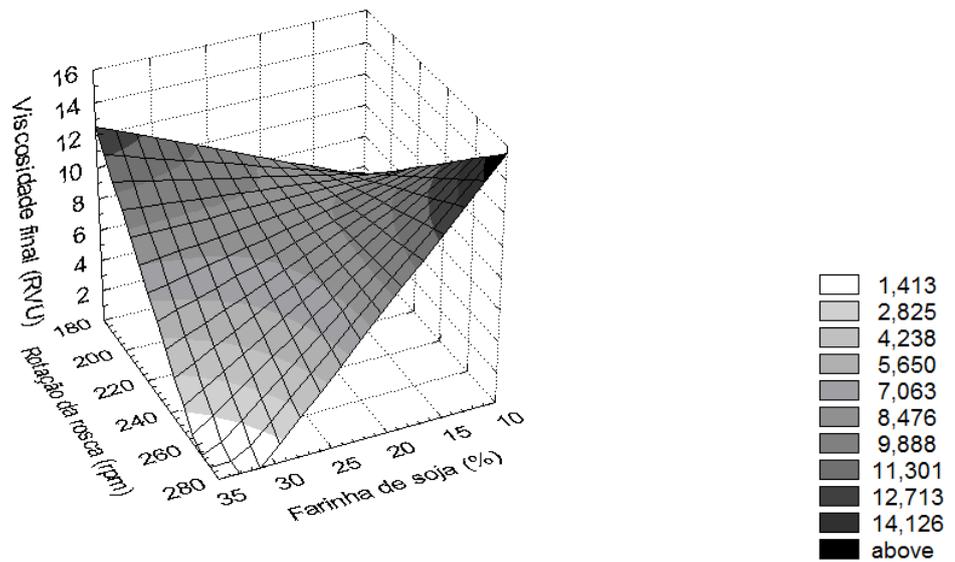


Figura 5 – Efeito da porcentagem de farinha de soja na mistura e da rotação da rosca sobre a viscosidade final das misturas extrusadas, sob temperatura de extrusão de 75°C e 20% de farelo de mandioca na mistura.

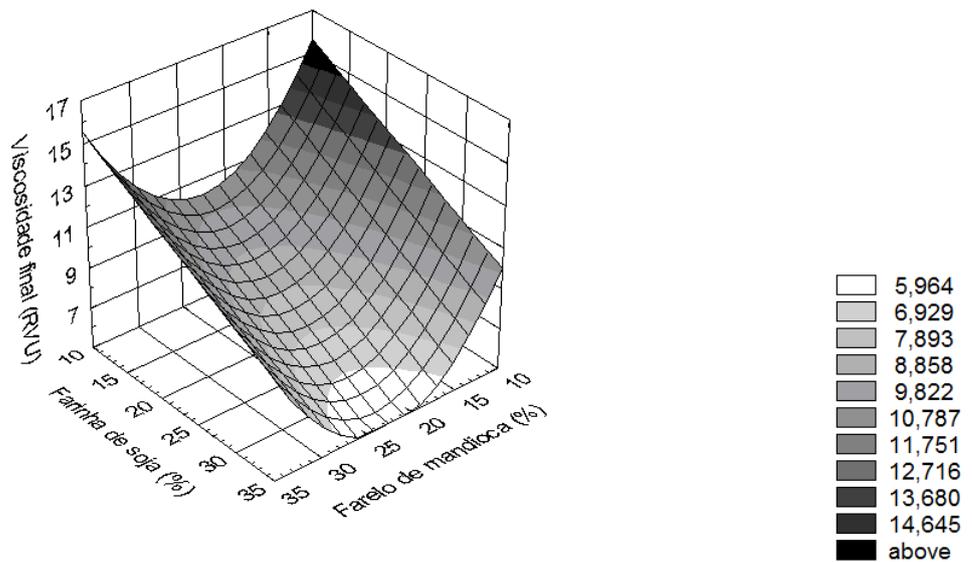


Figura 6 – Efeito da porcentagem de farinha de soja e farelo de mandioca na mistura sobre a viscosidade final das misturas extrusadas, sob temperatura de extrusão de 75°C e rotação de 230rpm

Os valores da tendência a retrogradação (TR) dos produtos extrusados variaram de 0 a 7,59 RVU (Tabela 4). A análise dos coeficientes de regressão mostrou que dentre os parâmetros variáveis estudados apenas a temperatura de extrusão não teve efeito significativo sobre esta propriedade de pasta (Tabela 9).

Tabela 9- Coeficientes de regressão estimados e ANOVA para a tendência a retrogradação das misturas extrusadas (modelo ajustado).

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	GL	<i>p</i> valor
Média	0,68			
Farelo de mandioca (L)	-0,50	0,2506	1	0,0584
Farinha de soja (L)	-0,98	0,2506	1	0,0007
Farelo de mandioca (Q)	0,68	0,2302	1	0,0073
Farinha de soja (Q)	0,87	0,2302	1	0,0010
Farelo de mandioca x Farinha de soja	-0,62	0,3069	1	0,0538
Farinha de soja x rotação	-0,91	0,3069	1	0,0071
R ²	0,6965			

ANOVA						
	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado	Pr>F
Regressão	6	79,55	13,26	8,80	2,53	<0,0001
Resíduos	23	34,66	1,51			
Total	29	114,21				

A retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas de amido através da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e/ou géis. A tendência a retrogradação é menor nas condições de maiores porcentagens de farelo e farinha de soja na mistura (Figura 7).

Hibi (1994) constatou que a formação de um complexo helicoidal insolúvel entre amilose e lipídio resultou num retardamento da lixiviação da amilose dos grânulos e, conseqüentemente, uma menor retrogradação. Acredita-se, portanto, que a diminuição no teor de amido (especialmente no de amilose) e/ou aumento no conteúdo de lipídio tenha contribuído para o decréscimo da retrogradação.

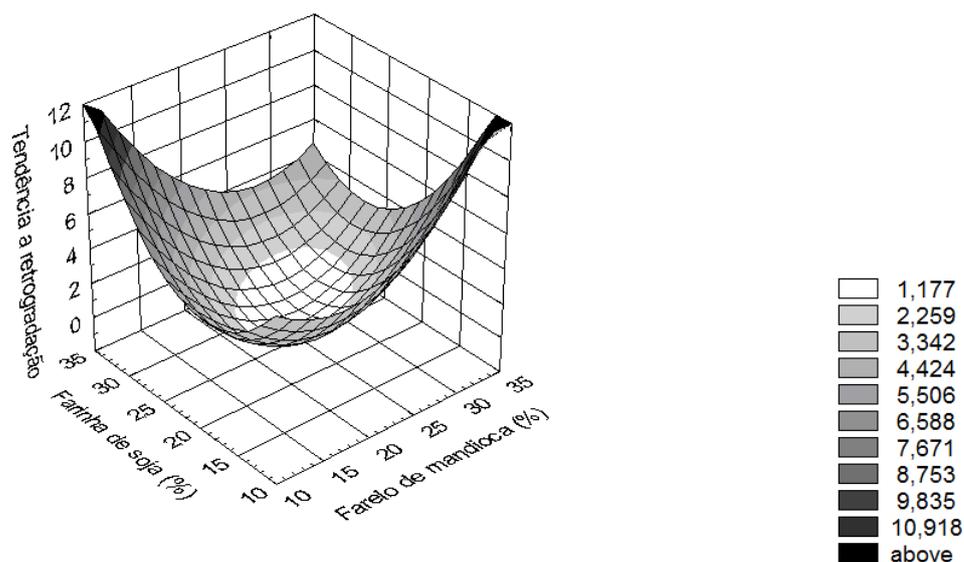


Figura 7- Efeito da porcentagem de farinha de soja e farelo de mandioca na mistura sobre a tendência a retrogradação das misturas extrusadas.

3.5. Propriedades térmicas das misturas extrusadas

O amido quando aquecido em excesso de água sofre uma transição de segunda ordem, irreversível, denominada gelatinização, que corresponde ao rompimento, expansão e hidratação da estrutura granular e ainda solubilização das macromoléculas constituintes do amido.

As misturas extrusadas nos diferentes tratamentos não mostraram entalpia de gelatinização residual sugerindo que todo o amido presente nas amostras foi gelatinizado (Figura 8). Portanto, as diferenças observadas entre os tratamentos nas propriedades de pasta não são devidas à presença de grânulos de amido intactos.

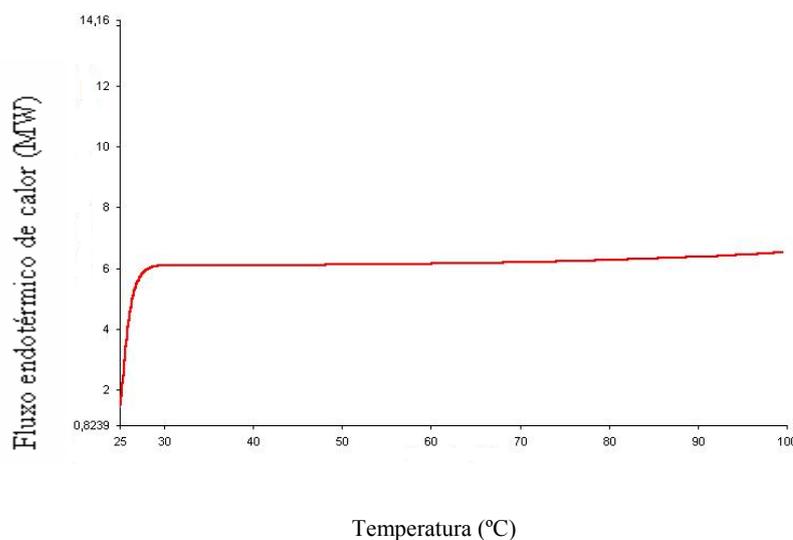


Figura 8- Perfil endotérmico observado por DSC da farinha extrusada nas condições centrais dos parâmetros variáveis.

4 CONCLUSÕES

- Dentre os parâmetros variados estudados a porcentagem de farinha de soja e a rotação da rosca apresentaram os maiores efeitos sobre as propriedades de pasta das misturas extrusadas;
- Misturas instantâneas à base de fécula, farelo de mandioca e farinha de soja com maior viscosidade inicial, maior pico de viscosidade, maior viscosidade final e sem entalpia de gelatinização residual, características de interesse em farinhas instantâneas, podem ser obtidas nas condições baixa rotação da rosca, maior porcentagem de farinha de soja e baixa porcentagem de farelo de mandioca e temperatura de 75°C.

5 REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 7th ed. rev. St. Paul, 1983. p. 378-381.

BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M. L.; RABIN, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 40, p. 107-111, 1999.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p.1 006-1018, set./out. 2002.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. United States, John Wiley, 1957 p. 396-399.

COLONNA, P. et al. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, Nantes, v. 61, n. 6, p. 538-543, 1984.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals a renewable resource: theory and practice**. St. Paul: AACC, 1982. p. 165-216.

FELLOWS, P. Extrusão. In: FELLOWS, P. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: [s.n.], 2006. cap. 14, p. 305-319.

GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S. Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyzer pasting behavior of rice extruded. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 33, p. 259-266, 1998.

GUTKOSKI, L. C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. cap. 7, p. 169-103.

HIBI, H. Y. Effect of lipids on the viscoelastic properties of rice starch gel. **Starch/Stärke**, New York, v. 46, n. 2, p. 44-48, 1994.

JANE, J. et al. Effects of amylopectin branch chain length and amylase content on the gelatinization and pasting properties of starches. **Cereal Chemistry**, Ames, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.

LEBOURG, C. **Brasamide et la féculé: une historie d'amour**. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, 1996. 59 p.

LEONEL, M.; CEREDA, M. M. P. Avaliação da concentração de pectinase no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para a obtenção de etanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, may/ago. 2000.

LUSTOSA, B. H. B. et al. Produção de farinha instantânea de mandioca: efeito das condições de extrusão sobre as propriedades térmicas e de pasta. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.31, n.2, p.231-238, 2009.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4**: instrutions manual. Warriewood, Austrália, 1998, 123 p.

THEBAUDIN, J.Y. et al. Dietary fibres: Nutritional and technological interest. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v.8, n. 2, p.41-48, 1997.