

Farinha extrusada de arroz como substituto de glúten na produção de pão de arroz

Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici, Ahmed A. El-Dash

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - Departamento de Tecnologia de Alimentos
Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, S.P. Brasil

RESUMO. A procura pela produção de pão sem glúten (PSG) é muito importante nutricional, técnica e economicamente para pacientes celíacos e para países em desenvolvimento, que importam trigo. Os maiores problemas tecnológicos na produção de PSG é obter um substituto de glúten, que tenha baixo custo e que seja capaz de reter gás durante a fermentação e assamento do pão. O uso de amido gelatinizado parece ser promissor para substituir o glúten. Neste trabalho foi feito pão sem glúten, usando farinha de arroz crua (100%) e adição de 10% de farinha pré-gelatinizada de arroz, como substituto de glúten. Farinhas pré-gelatinizadas de arroz (FPG) produzidas num extrusor mono-rosca Brabender, variando-se a temperatura de extrusão (108 - 192°C) e a umidade da matéria-prima (19,2 a 24,8%) foram usadas ao nível de 10% (em base de 100% de farinha de arroz) na produção do pão sem glúten. Os resultados mostraram que a farinha extrusada de arroz a alta temperatura (180°C) e baixa umidade (20%) produziu pães com as melhores características tecnológicas, com cor de crosta e miolo semelhantes ao pão de trigo, mas volume e textura ainda não foram iguais.

Palavras-chave: Pão sem glúten, extrusão termoplástica e farinha de arroz.

SUMMARY. Extruded rice flour as a gluten substitute in the production of rice bread. Research regarding the production of gluten-free bread (GFB) is very important nutritionally, technically and economically speaking, both to celiac patients and to developing countries who import wheat. The main technological problem in the production of GFB is obtaining a gluten substitute that is both inexpensive and capable of retaining gas during bread fermentation and baking. The use of gelatinized starch as an alternative for gluten seems promising. In this project, rice bread was made using pre-gelatinized extruded rice flour as a gluten substitute. Pre-gelatinized rice flours (PRF) were manufactured in a single screw Brabender extruder, varying extrusion temperature (108-192°C) and the moisture of the raw material (19.2 - 24.8 %), and were used in a proportion of 10g for every 100g of raw rice flour, in the production of gluten-free bread. Results showed that rice flour extruded at a high temperature (180°) and low moisture content (20%), rendered bread with the best technological characteristics, presenting crust and crumb color similar to those of conventional wheat bread, although with volume and texture not as satisfactory in the same comparison.

Keywords: Gluten-free bread, thermoplastic extrusion, rice flour.

INTRODUÇÃO

O pão consiste predominantemente de proteínas, amido e água na razão aproximada de 1:6:5, respectivamente (1). O mecanismo da rápida formação de massa viscoelástica, quando a farinha de trigo é misturada com água, está relacionado com as proteínas formadoras de glúten, sendo que muitas hipóteses têm sido publicadas visando explicar este mecanismo (2).

O pão sem glúten (PSG), obtido com farinhas amiláceas nativas de países em desenvolvimento, pode representar a oferta de produtos de custo menor e ser uma fonte de energia para pacientes celíacos, que apresentam intolerância permanente a gliadina e outras proteínas afins que estão contidas em dieta alimentar à base de trigo, aveia, cevada, centeio e triticale (3,4).

Alguns resultados encontrados mostram que o PSG não possui as características de textura e granulidade iguais ao pão com trigo (5). As farinhas sem glúten quando misturadas para formar massa não formam fase contínua e nem estrutura de massa, logo não produzem pão de boa qualidade (6), sendo

que uma das características principais do PSG é o miolo firme e gomoso (7).

Contudo, a farinha de arroz tem sido bem caracterizada para a produção de pão sem glúten. Os melhores resultados na produção de pão de arroz foram com o uso de uma farinha de arroz com baixo teor de amilose (20-25%) e características amilográficas como baixa temperatura de gelatinização (60°C), viscosidade de pasta à quente de 750 UA (Unidades Amilográficas) e viscosidade após resfriamento a 50°C de 715 UA (8,9).

Para melhorar a qualidade do PSG, muitos pesquisadores têm feito uso de aditivos como gomas, emulsificantes, farinhas ou amidos gelatinizados (5,7,10-13). No entanto, pesquisas visando fortalecer a rede de proteínas do arroz através do uso de enzimas tem sido realizadas (14), porém o uso de gomas ainda foi necessário para melhorar o volume do pão.

O amido gelatinizado é um dos pré-requisitos para estabelecer a rede tridimensional capaz de reter gases e de se expandir durante a fermentação e forneamento do PSG (2), este se apresenta como um dos coadjuvantes mais viáveis

economicamente em países do terceiro mundo para obtenção deste tipo de produto. Os métodos de produção de farinhas e amidos gelatinizados são vários (rolos secadores, atomização, cozimento convencional), mas o processo de extrusão apresenta as vantagens de versatilidade, alta produtividade, baixo custo (15) e controle mais rigoroso do grau de gelatinização desejado, onde pequenas modificações no equipamento e/ou na matéria-prima, podem levar a diferentes resultados finais (16).

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de farinhas de arroz pré-gelatinizadas por extrusão como substituto do glúten, ao nível de 10g para cada 100g de farinha de arroz crua, nas características tecnológicas de pães sem glúten.

MATERIAL E MÉTODOS

Farinha de arroz, obtida em laboratório

Sal refinado, açúcar refinado, óleo vegetal de soja, fermento biológico seco e gordura vegetal hidrogenada, obtidos no comércio.

Obtenção e caracterização físico-química e tecnológica da farinha de arroz

Arroz em casca, cedido pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas-SP-Brasil), foi beneficiado, limpo e moído em moinho de trigo Quadrumat Senior Brabender nas passagens de quebra e redução, para transformação em farinha de arroz. A granulometria foi determinada pela passagem de 200 g de farinha de arroz por um conjunto de peneiras vibratórias Produtest, com agitação constante por 15 minutos, posteriormente, as quantidades retidas em cada peneira e no fundo foram pesadas e calculadas as respectivas porcentagens.

Foram determinados a umidade, proteína e cinzas usando os respectivos métodos nº 44-15A, 46-12; 08-01 da AACC (17), lipídios (18) e carboidratos totais foi calculado pela diferença, teor de amilose (19) e propriedades viscoamilográficas (20).

Método de produção de PSG

A formulação básica do PSG pode ser visualizada na Tabela 1. Esta formulação seguiu a utilizada pela FAO (10) e teve algumas modificações segundo resultados obtidos por Machado (21) que obteve PSG com farinha de arroz com maiores volumes, quando utilizou 10g de pasta cozida de arroz para cada 100 g de farinha de arroz crua e quantidade de água de 110-120mL. O fermento biológico fresco foi substituído proporcionalmente pelo fermento seco. A pasta recém cozida de arroz foi substituída por farinha pré-gelatinizada de arroz por extrusão.

TABELA 1
Formulação do pão sem glúten*

Ingredientes	g/100g
Farinha de arroz	100
Farinha pré-gelatinizada de arroz**	10
Sal**	2
Açúcar**	5
Fermento seco**	1
Óleo**	2
Água*	110 mL

*adaptado de FAO (10) e Machado (21)

**emrelação a quantidade de farinha de arroz

A técnica de preparo dos pães foi: os ingredientes secos foram colocados na batedeira planetária e misturados por 30 segundos à velocidade 1 (baixa), a seguir o óleo e água foram adicionados e misturados por 5 minutos à velocidade 2 (alta). Da massa resultante, 120g foram colocadas em forma própria para pão, que media 12x4,5cm na base, h=3,5cm e 6,5 x 12,8cm de topo, fermentada por 90 minutos à 30°C e em seguida, assada a 200°C por 30 minutos.

Obtenção da farinha de arroz pré-gelatinizada por extrusão (FPG)

Para se fazer a extrusão da farinha de arroz foram escolhidas, para o processo, as variáveis temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima (Tabela 2), seguindo um delineamento linear exploratório para otimização do processo de uso das FPG na produção do PSG pelo caminho de ascendência máxima, usando o volume específico como resposta.

TABELA 2
Volume específico dos pães com as diferentes FPG (modelo linear), com 3 repetições no ponto central

Processo	Farinhas pré-gelatinizadas		Volume específico dos pães (mL/g)
	x*	y**	
1	120	20	1,93
2	120	24	1,71
3	180	20	2,35
4	180	24	2,19
5	150	22	2,14
6	150	22	2,02
7	150	22	2,03

* x= temperatura (°C);**y= umidade (%)

Características do extrusor Brabender

Foi utilizado um extrusor de laboratório rosca única. A taxa de compressão da rosca foi 3:1 e mantida à velocidade de 120 rpm, a temperatura da primeira zona foi fixada em 80°C, enquanto que as temperaturas da segunda e terceira zonas variaram de acordo com o delineamento estatístico (Tabela 2). O diâmetro da matriz circular foi de 3 mm e o alimentador foi mantido à velocidade de 70-80 rpm.

Preparo das FPG

Após a extrusão termoplástica, os extrusados foram secos, por aproximadamente 15 horas em estufa com circulação de ar à 50°C, até teor de umidade inferior a 10%. Foram passados em moinho de facas e em seguida em moinho Quadrumat Senior, nas passagens de quebra (2 vezes) e redução (2 vezes), obtendo-se assim as respectivas FPG.

Características dos PSG

Foram feitos pães com todas as FPG e as seguintes características foram analisadas:

Volume específico, em duplicata, segundo método de deslocamento de sementes, El-Dash, Camargo e Diaz (22).

Cor da crosta e do miolo, em triplicata, foi utilizado o espectrofotômetro, seguindo o sistema CIE-Lab, medindo os valores L*, a*, b*, com iluminante D e ângulo de 10°. Na representação do sólido do sistema CIE-Lab os valores de L* (luminosidade) vão de 0 (preto) até 100 (branco); +a* (até 100) corresponde ao vermelho, -a* (até -80) corresponde ao verde; +b* (até +70) corresponde ao amarelo e -b* (até -100) ao azul (23).

Textura do pão fresco, foi feito o teste denominado Perfil de Análise de Textura (PAT), no analisador de textura TA-XT2, onde foi utilizado o software XTRA Dimension da Stable Micro System. Para se fazer a textura do miolo dos pães, estes foram resfriados por uma hora a temperatura ambiente, fatiados em fatiadora elétrica e descascados com faca elétrica. Foram, então, colocadas duas fatias do miolo do pão no texturômetro, que mediram juntas 7cm x 2,5cm. O texturômetro foi ajustado, segundo técnica descrita pelo próprio fabricante para textura de pães, nas seguintes especificações: compressão: 5 mm, sonda: diâmetro 25,4 mm, força "threshold" = 20g, distância "threshold" = 0,50 mm, força de contato = 5,0g. Velocidade de teste = 2,0mm/s, velocidade do pré e pós teste = 5,0 mm/s, distância = 5,0 mm, ciclo até contagem de 10 e com medida de força em compressão. Os seguintes parâmetros foram analisados: dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade, fraturabilidade, mastigabilidade.

Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram analisados por metodologia de superfície de resposta (MRS), onde foi feita a análise de variância (ANOVA) para valores reais das variáveis independentes do delineamento quadrático no SAS, para se encontrar a equação mais adequada para descrever as características da região analisada foi feito o stepwise, observando a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança pelo teste F, e também foi analisado o coeficiente de determinação (R²), segundo Barros Neto, Scarminio e Bruna (24). Como forma de comparação de resultados e para facilitar a melhor visualização da influência das FPG nas características tecnológicas do PSG foi feita a Análise de Componentes Principais (ACP).

RESULTADOS

Caracterização da farinha de arroz crua

A farinha de arroz apresentou 63% de tamanho entre 60 e 80 mesh e 37% acima de 100 mesh. A composição centesimal foi 12,88% de umidade; 0,27% de cinzas; 7,56% de proteínas, 0,32% de lipídeos e 78,97% de carboidratos (calculado pela diferença). O teor de amilose foi de 23,88% em base de 14% de umidade. Apresentando, ainda, as seguintes características viscoamilográficas: viscosidade inicial de 0 unidades amilográficas (UA); temperatura inicial de pasta, 66°C; viscosidade máxima à temperatura constante, 1460 UA; e viscosidade final a 50°C, 1560 UA.

Otimização da obtenção de FPG para produção de PSG

A Tabela 2 mostra os valores de volume específico (Vol.esp) obtidos para os PSG. A análise de variância (ANOVA) nas variáveis codificadas mostrou que o modelo foi significativo ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), não apresentou falta de ajuste e explicou 94,14% da variação da resposta. Os fatores temperatura (X) e umidade (Y) foram importantes para a variação do volume específico. A equação da regressão para o volume foi:

$$\text{Vol. esp.} = 2,055 + 0,225X - 0,095Y \quad R^2 = 0,9414.$$

Foi feito o caminho de ascensão máxima para otimização do volume específico de pães sem glúten obtidos com as FPG, que pode ser visto na Tabela 3, porém os resultados mostraram que os novos pães não apresentaram volumes superiores aos já encontrados no delineamento linear. Considerou-se, então, a região como ideal para a produção de FPG de arroz para produção de PSG. Mesmo o delineamento linear tendo se mostrado adequado para o modelo, ele foi acrescido de novos pontos em estrela para se tornar um delineamento composto rotacional, numa tentativa de melhorar ainda mais o coeficiente de determinação (R²) e melhor caracterizar a região a ser estudada. O novo delineamento pode ser observado na Tabela 4.

TABELA 3

Pontos do caminho de ascendência máxima para a equação de regressão do volume específico de pães sem glúten com diferentes FPG

	X (codificado)	Y (codificado)	x* Real	y** Real	volume específico (mL/g)
Condições centrais	0	0	150	22	2,06
Passos do caminho	1	-0,42	180	21	2,18
	2	-0,84	210	20	1,60

*x = temperatura (°C); **y = umidade (%)

TABELA 4

Delineamento estatístico composto rotacional para obtenção da FPG e volume específico de pães sem glúten na região analisada

Processo	Temperatura (codificado)	Umidade (codificado)	x * Real	y ** Real	Volume específico (mL/g)
1	-1	-1	120	20	1,94
2	-1	1	120	24	1,71
3	1	-1	180	20	2,35
4	1	1	180	24	2,20
5	0	0	150	22	2,18
6	$\sqrt{2}$	0	192	22	2,06
7	$-\sqrt{2}$	0	108	22	1,62
8	0	$\sqrt{2}$	150	24,8	1,91
9	0	$-\sqrt{2}$	150	19,2	2,12
10	0	0	150	22	2,02
11	0	0	150	22	2,04
12	0	0	150	22	2,02
13	0	0	150	22	2,03

*x= temperatura (°C); **y= umidade (%)

Análise por MRS das características tecnológicas dos PSG obtidos com FPG

Volume específico

A Tabela 4, a equação ajustada e a Figura 1 apresentam os volumes específicos dos pães sem glúten.

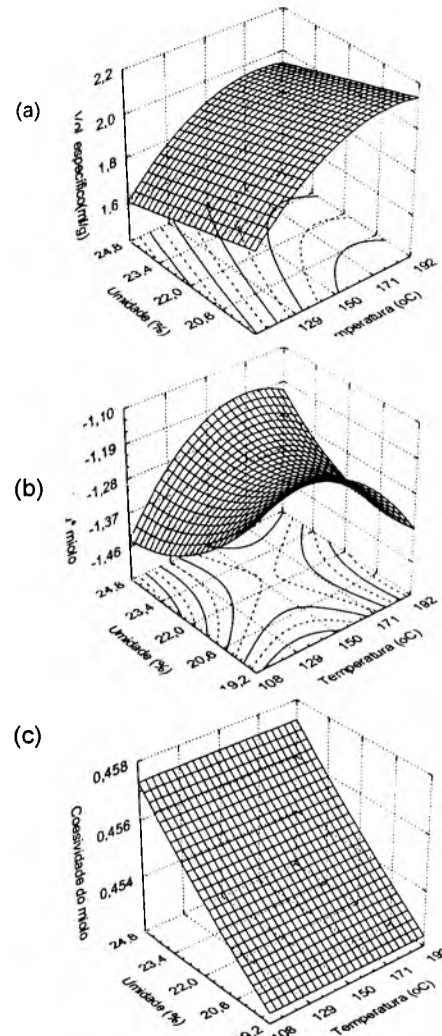
$$\text{Volume específico} = 0,104 + 0,032x - 0,042y - 0,00009x^2$$

$$R^2=0,8456$$

Pela equação ajustada para o volume pode-se observar que os pães feitos com farinhas tratadas a altas temperaturas e baixas umidades apresentaram maior volume em relação aos outros:

FIGURA 1

Volume específico (a), cor a* do miolo (b) e coesividade (c) de pães sem glúten obtidos com diferentes FPG



Cor da crosta e do miolo dos pães sem glúten

Na Tabela 5 estão os resultados para cor da crosta e do miolo do pão nos valores L*, a*, b*.

As análises de variância para os valores L*, a* e b* da cor da crosta, apresentaram características semelhantes, como regressão significativa, uma baixa explicação da variação dos dados observados (R² entre 30 e 40%) e falta de ajuste muito significativa. Logo os modelos não puderam ser analisados, pois indicaram que não houve diferenças significativas destes valores na região estudada. Os valores médios para L*, a* e b* foram 59,01; 6,01 e 27,10, respectivamente.

Os valores de L* e b* dos miolos dos pães sem glúten apresentaram modelo não significativo, logo o valores médio foram 60,50 e 4,47 respectivamente.

A ANOVA para o valor a* da cor do miolo, mostrou que

a regressão foi significativa e o modelo explicou 89% da variação dos dados observados com representação gráfica na Figura 1.

$$\text{Valor } a^* \text{ do miolo} = 5,251 - 0,582y - 0,00008x^2 + 0,0011xy + 0,0092y^2 \quad R^2=0,8912$$

TABELA 5
Análises de cor da crosta e do miolo de pães sem glúten obtidos com as FPG

Processo	FPG	Cor da crosta			Cor do miolo		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
1		58,54	6,36	29,02	60,16	-1,24	3,44
2		60,60	1,87	23,58	62,40	-1,40	5,55
3		54,33	11,56	32,95	65,83	-1,45	5,45
4		54,34	11,04	32,21	61,48	-1,35	4,13
5		58,63	6,42	23,48	61,25	-1,33	4,87
6		58,19	2,76	22,78	52,73	-1,48	4,94
7		59,28	2,95	20,82	63,17	-1,46	4,27
8		63,40	4,73	27,42	57,83	-1,29	3,33
9		60,70	5,76	27,89	59,27	-1,21	3,45
10		58,69	6,75	30,71	59,52	-1,31	4,56
11		61,76	5,51	27,50	62,28	-1,32	4,74
12		59,52	6,27	26,76	59,65	-1,33	4,64
13		59,69	6,23	27,23	61,02	-1,32	4,72

Análise do perfil de textura

Na Tabela 6 estão os resultados da avaliação de textura. As análises de variância para as características de elasticidade, gomosidade, fraturabilidade, dureza e mastigabilidade mostraram valores muito baixo de R^2 e regressão não significativa ao nível de 95% de confiança. Os valores médios na região estudada foram: elasticidade = -1,14; gomosidade = 86,55; fraturabilidade = 194,14g; dureza = 189,23g e mastigabilidade = -94,36.

A ANOVA para a coesividade indicou que a regressão foi significativa, explicou 48% da variação dos dados observados e não apresentou falta de ajuste. O modelo foi ajustado e ocorreu uma grande diminuição do R^2 , de 48% para 33%.

$$\text{Coesividade} = 0,56 - 0,0009x - 0,004y + 0,0000006x^2 + 0,000013y^2 + 0,00003xy, \quad R^2 = 0,4788.$$

Análise de componentes principais (ACP) das características de qualidade dos pães sem glúten obtidos com farinhas pré-gelatinizadas

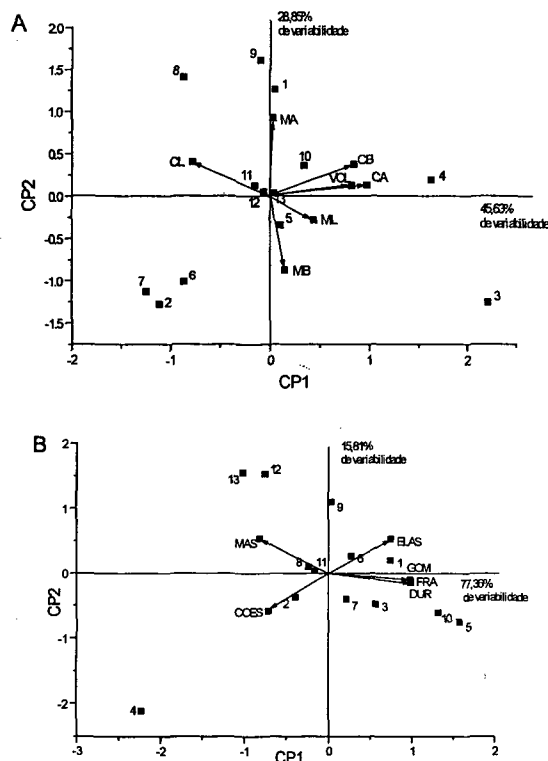
Na Figura 2 está a ACP para as características de qualidade dos pães sem glúten, sendo que o gráfico A mostra as características de volume e cor da crosta e do miolo dos pães e o gráfico B, as características de textura.

TABELA 6
Análise do perfil de textura após 1 hora de resfriamento dos pães sem glúten obtidos com as FPG

FPG	ELAS	GOM	FRAT(g)	COES	DUR(g)	MAS
1	-1,102	94,272	214,05	0,456	207,00	-103,863
2	-1,157	81,935	183,85	0,458	178,85	-94,760
3	-1,127	92,817	212,10	0,457	207,35	-106,848
4	-1,261	64,543	142,75	0,463	139,40	-81,361
5	-1,105	107,78	241,10	0,456	236,50	-119,116
6	-1,140	88,004	199,10	0,455	193,40	-100,379
7	-1,126	89,768	201,15	0,458	196,10	-101,035
8	-1,125	82,576	186,15	0,458	180,70	-92,938
9	-1,128	82,514	187,30	0,454	181,80	-93,095
10	-1,145	103,068	235,20	0,454	227,00	-117,996
11	-1,124	83,580	189,55	0,458	182,75	-93,969
12	-1,122	78,760	167,35	0,457	168,25	-63,126
13	-1,157	75,590	164,20	0,456	161,00	-58,242

Onde: ELAS = elasticidade, GOM = gomosidade, FRA = fraturabilidade, COES = coesividade, DUR = dureza, MAS = mastigabilidade

FIGURA 2
Análise de componentes principais (CP1 e CP2) das características dos pães sem glúten obtidos com as FPG



Onde: 1=120°C-20%, 2 =120°C-24%, 3 =180°C-20%, 4 =180°C-24%, 5, 10, 11, 12, 13 =150°C-22%, 6=192°C-22%, 7= 108°C-22%, 8=150°C-24,8%, 9=150°C-19,2%, VOL=volume específico, CL= valor L* crosta CB= valor b* crosta, CA= valor a* crosta, ML= valor L* miolo, MA= valor a* miolo, MB= valor b* miolo, COES=coesividade, ELAS=elasticidade, FRA = fraturabilidade, DUR = dureza, GOM = gomosidade, MAS= mastigabilidade).

DISCUSSÃO

A avaliação do volume específico dos pães (Figura 1) mostrou que os pães feitos com FPG tratadas a altas temperaturas e baixas umidades apresentaram maior volume em relação aos outros. Os volumes foram ligeiramente menores em comparação com pães sem glúten obtidos com o uso de soja (11,25,26), que apresentaram volumes de 2,35 a 2,9 mL/g. Porém os volumes foram maiores aos obtidos por Kim & Ruitter (27) que fizeram pães com farinha de inhame e farinha desengordurada de amendoim (vol. esp= 1,7 a 2,0 ml/g) e por Machado (21) que obteve volume específico de 0,94 a 1,34 mL/g para pães sem glúten obtidos com farinhas gelatinizadas de arroz em diferentes formulações. Portanto a substituição de farinha de arroz gelatinizadas por FPG, mostrou-se eficiente para aumento do volume do pão.

Os resultados encontrados na literatura para volume específico de PSG são baixos, quando comparados com os pães de farinha de trigo, que é de aproximadamente 6mL/g (23), indicando que as pesquisas devem continuar visando aumentar o volume do PSG.

Os resultados obtidos para a cor do PSG neste trabalho quando comparados com pão de farinha de trigo, obtidos por Ylimaki *et al.* (7) que no sistema Lab foi: $L^*=41,3$; $a^*=13,2$ e $b^*=17,7$, mostrou que o PSG apresentou maior luminosidade, menor a^* (menos vermelho) e maior b^* (mais amarelo) em relação ao pão de trigo

Machado (21) que obteve, para a cor da crosta de PSG, os valores de $L^*=48$ a 66 , $a^*=14$ a 24 e $b^*=20$ a 25 e comparando este valores com os obtidos neste trabalho, verificou-se que os pães com FPG de arroz nas condições de $120^\circ\text{C}-24\%$, $192^\circ\text{C}-22\%$ e $108^\circ\text{C}-22\%$ apresentaram valores semelhantes, enquanto que os outros pães tiveram maiores valores de a^* e b^* , indicando pães com melhores colorações de crosta.

Em relação a cor do miolo, os PSG obtidos neste trabalho apresentaram miolo mais claro e com coloração mais uniforme em relação aos encontrados por Machado (21), que foram de $L^*=77-78$, $a^*=0,51-3,20$ e $b^*=4,39-7,14$.

O perfil de textura dos PSG obtidos com as FPG $180^\circ\text{C}-20\%$, $150^\circ\text{C}-22\%$ e $120^\circ\text{C}-20\%$ foram os que mais se aproximaram do pão de trigo obtido por Gutkoski *et al.* (28), que encontraram os seguintes valores: dureza = 230,8g; mastigabilidade = -116,78; elasticidade = -1,304; coesividade = 0,388; gomosidade = 89,71 e fraturabilidade = 242,6g.

Em comparação com Machado (21) que obteve dureza dos PSG variando entre 1479g até 10479g (indicando pães muitos duros após resfriamento), houve grande melhoria nos PSG obtidos neste trabalho, que já estão apresentando dureza semelhante a de pães com trigo.

Os gráficos de ACP (Figura 2) visaram obter a influência dos diferentes tipos de FPG na qualidade do pão e contribuir para a determinação da escolha de parâmetros de extrusão a

serem utilizados na obtenção de FPG para uso na produção de PSG.

No gráfico A pode-se observar que no CP1, a maior variabilidade entre as amostras foi devido às características de volume (VOL), valor L^* da crosta (CL), valor a^* da crosta (CA), valor b^* da crosta (CB) e valor L^* do miolo (ML) e no CP2, foi devido aos valores a^* e b^* do miolo (MA e MB, respectivamente).

Analisando os tratamentos, verifica-se que as repetições 5, 10, 11, 12 e 13, do ponto central $150^\circ\text{C}-22\%$, estão próximas e indicam que a ACP pode ser usada para descobrir a dependência das características analisadas em relação aos tratamentos.

Os tratamentos 7($108^\circ\text{C}-22\%$), 2($120^\circ\text{C}-24\%$) e 6($192^\circ\text{C}-22\%$) apresentam similaridades em relação às características analisadas: influenciaram negativamente o VOL, CB, CA, MB e CL dos pães sem glúten.

O VOL, CB, CA e ML foram mais influenciados pelos tratamentos 3 ($180^\circ\text{C}-20\%$) e 4 ($180^\circ\text{C}-24\%$), sendo que o tratamento 3 foi o que apresentou maiores valores de VOL, CB e CA. No entanto, ML e MB foram afetados pelos tratamentos 2, 3 e 7, apresentando nestes tratamentos os maiores valores. CL foi mais afetado pelos tratamentos 8 ($150^\circ\text{C}-24,8\%$) e 9. Já, MA apresentou maiores valores, pelos tratamentos 1($120^\circ\text{C}-20\%$), 8($150^\circ\text{C}-24,8\%$) e 9($150^\circ\text{C}-19,2\%$).

Analisando o gráfico B, no CP1, a variabilidade foi devida a todas as características de textura, já no CP2, foi devida a elasticidade (ELAS), coesividade (COES) e mastigabilidade (MAS).

Em relação aos tratamentos, verifica-se que as repetições no ponto central, 5, 10, 11, 12 e 13, estão muito dispersas tanto no CP1 quanto no CP2, este fato impede que seja feita a relação de dependência entre os tratamentos e as características de textura. Podendo-se considerar que somente o tratamento 4($180^\circ\text{C}-24\%$) se destacou e influenciou os maiores valores de COES e MAS e os menores valores de ELAS, gomosidade (GOM), fraturabilidade (FRA) e dureza (DUR).

A ACP confirmou os resultados obtidos pela MSR, principalmente para as análises de dureza, volume e coloração da crosta e do miolo.

Analisando os diversos parâmetros, pode-se afirmar que o pão obtido com a FPG- $180^\circ\text{C}-20\%$ de umidade (tratamento 3) foi o que apresentou melhores características tecnológicas relacionadas ao volume e coloração, em relação a textura todos as FPG apresentam pães de boa qualidade.

CONCLUSÃO

Foi possível usar FPG por extrusão como substituto de glúten na proporção de 10g para cada 100g de farinha de arroz

crua no pão de arroz. Os melhores resultados obtidos foram quando se usou a farinha de arroz pré-gelatinizadas a altas temperaturas (>180°C) e baixa umidades (<20%). A qualidade total do PSG ainda não é igual ao pão de trigo, mas este trabalho mostra que já foi possível obter pães com textura e coloração semelhantes aos pães de trigo e indica que novas pesquisas devem ser feitas visando melhorar o volume do PSG.

REFERÊNCIAS

1. Wilhoft EMA. Bread Staling, I, Experimental Study, II, Theoretical Study. *J. Sci. Food Agricultural*. 1971, (22):176-183.
2. El-Dash AA. Molecular structure of gluten and viscoelastic properties of dough: a new concept. *Proceedings of the First Brazilian Congress Proteins*. Ed. UNICAMP, 1991; p.513-530.
3. Polanco I, Molina M, Pietro GCS & Lama R. Dieta y enfermedad celíaca. *Alimentaria*. 1995; 33 (264):91-93.
4. Jarmo K, Visakorpi J & Mäki M. Variaciones en las características clínicas de la enfermedad celíaca. *Alimentaria*. 1995; 33 (264):93-96.
5. Nishita KD, Roberts RL & Bean MM. Development of a yeast-leavened rice-bread formula. *Cereal Chem*. 1976; 53 (5):626-35.
6. Ranhotra GS, Loewe RJ & Puyat LV. Preparation and evaluation of soy-fortified gluten-free bread. *J. Food Sc.* 1975; 40(1):62-4.
7. Ylimaki G, Hawarysh ZJ, Hardin RJ & Thomson ABR. Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads: objective measurements. *J. Food Sci*. 1988; 53 (6):1800-5.
8. Nishita KD & Bean MM. Physicochemical properties of rice in relation to rice bread. *Cereal Chem*. 1979;56(3):185-9.
9. Perdon AA & Juliano BO. Amylose content of rice and quality of fermented cake. *Die Stärke*. 1975; 27(6):196-8.
10. FAO. Wheatless bread. January, 1989.
11. Defloor I, De Geest C, Schlekens M, Martens A & Elcour JA. Emulsifiers and/or extruded starch in the production of breads from cassava. *Cereal Chem*. 1991; 68(4):323-7.
12. Schnell M, Carvajal ME e Anchustegui, B. Effect of Cassava Bread Supplementation on Energy-Intake of Rats. *Arch Latinoamer Nutr*. 1993; 43 (3): 217-220.
13. Torres RL, Gonzalez RJ, Sanchez HD, Osella CA, de la Torre MAG. Performance of rice varieties in making bread without gluten. *Arch Latinoamer Nutric*. 1999; 49 (2): 162-165.
14. Gujral HS, Rosell CM. Improvement of the Bread making quality of rice flour by glucose. *Food Research International*. 2004; 37: 75-81.
15. Lorenz K & Jansen GR. Nutrient stability of full-fat soy flour and corn-soy blends produced by low-cost extrusion. *Cereal Foods World*.1980; 25 (4):161-2, 171.
16. El-Dash AA. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: Pomeranz, Y. & Munch, L. *Cereal a Renewable Resource: Theory and Practice*. American Association of Cereal Chemists, 1982.
17. AACC - *Approved Methods of American Association Of Cereal Chemists*. 8 ed. St. Paul. 1983.
18. Bligh EG & Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian J Biochemistry Physiology*. 1959; (37) 911-917.
19. Sowbhagya CM & Bhattacharya KR. Simplified determination of amylose in milled rice. *Starch*. 1979; 31(5):159-163.
20. Brabender. *Food Quality testing with Brabender*, Germany. s.d.
21. Machado LMP. Pão sem glúten: otimização de algumas variáveis de processamento. Campinas, 1996. Tese de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. 186p.
22. El-Dash AA, Camargo CRO & Diaz N. *Fundamentos de Tecnologia de Panificação, Série Agro-Industrial*, vol.6, 1982.
23. Ferreira VLP. *Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos*. Instruções Técnicas, n.19, 1981.
24. Barros Neto B, Scarminio IS, Bruna RE. *Planejamento e Otimização de experimentos*. Ed. da UNICAMP, 1995, 299p.
25. Akobundu CN; Ubaonu CN & Ndupuh CE. Studies on the baking potencial of non-wheat composite flours. *J. Food Sc. Tech*. 1988; 25(4)211-214.
26. Borges JM, Ferreira E & Alvim CMF. Pão de mandioca e soja. *Boletim de Extensão*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984, 17p.
27. Kim JC & Ruiter D. Bakery products with non-wheat flours- a review. *Bakers Digest*.1969, 43(3):58-63.
28. Gutkoski LC; Pavanelli AP; Miranda MZ & Chang YK. Efeito de melhoradores nas propriedades reológicas e de panificação da massa de farinha de trigo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 1997; 17(1)11-16.

Recibido: 29-12-2005

Aceptado: 24-08-2006