

PROPRIEDADES FUNCIONAIS TECNOLÓGICAS DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE BAGAÇO E FÉCULA DE MANDIOCA

Thaynara Stella Carvalho SOUZA¹; Fernanda Assumpção FIORDA²; Camilla de Melo MOURA³; Manoel Soares SOARES JÚNIOR^{4*}

*Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás.

thaynarastella@gmail.com¹; fernandafiorda@hotmail.com²;

camilamamoura@gmail.com³; mssoaresjr@hotmail.com⁴

PALAVRAS-CHAVE

Manihot esculenta Crantz., resíduo, análises tecnológicas.

INTRODUÇÃO

Farelo é um resíduo sólido obtido na etapa de extração da fécula de mandioca, caracterizado como material fibroso da raiz e contendo parte da fécula que não foi possível extrair no processamento. Este resíduo apresenta 85% de umidade, composição média em base seca de 75% de amido e 16% de fibras (CEREDA, 2001) e tem se apresentado como um grande problema para os industriais, que doam ou vendem o resíduo a preços muito baixos a fazendeiros para a alimentação animal (LEONEL; CEREDA, 2000). Além disso, o alto teor de umidade dificulta o transporte e armazenamento deste resíduo.

O elevado teor de umidade dificulta a industrialização do bagaço pelas fecularias, pois há grande possibilidade de contaminação do produto, proporcionando uma fermentação indesejada, além disso, o custo necessário para a realização desta secagem também dificulta a sua industrialização. Neste sentido, é necessária a aplicação de processos tecnológicos, como por exemplo, a secagem de forma simultânea à produção do resíduo. Porém, para que o emprego da secagem se torne um processo interessante para os empresários, é necessário o desenvolvimento de alternativas para o emprego deste resíduo destinado a alimentação humana.

O princípio básico da extrusão é converter um material sólido em fluído pela aplicação de calor e trabalho mecânico; e forçar sua passagem através de uma matriz para formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas. O processo promove a gelatinização do amido, a desnaturação e a re-ordenação das proteínas, a

¹ orientando; ⁴ orientador; revisado pelo orientador

inativação enzimática, a destruição de algumas substâncias tóxicas e a diminuição da contagem microbiana (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

As modificações do amido por processo físico incluem o uso do calor, radiações e cisalhamento; sendo que entre os produtos obtidos por calor se podem citar os amidos pré-gelatinizados (FREITAS; LEONEL, 2007), que podem ser aplicados em diversos alimentos, como sobremesas, sopas, alimentos infantis e outros produtos instantâneos. Estes produtos não necessitam de cozimento para seu preparo. Uma opção para utilização do bagaço de mandioca seria o desenvolvimento de farinhas pré-gelatinizadas (FPG) com fécula de mandioca, o que promoveria o enriquecimento destas com fibras, utilizando a extrusão como processo tecnológico.

O objetivo deste trabalho foi estudar e caracterizar as propriedades tecnológicas dos extrusados e das FPG de bagaço e fécula de mandioca, em função da umidade e temperatura de extrusão, visando obter subsídios utilização na alimentação humana.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas farinhas formuladas com mistura de bagaço e fécula de mandioca, ambos da cultivar IAC-12 (30:70), doadas pela Feculária Bela Vista, situada em Bela Vista de Goiás, GO.

Para avaliar o efeito combinado das variáveis independentes nas características tecnológicas dos extrusados e das FPG, utilizou-se metodologia de superfície de resposta e delineamento central composto rotacional, descrito na tabela 1.

Foram determinados no material extrusado (*snacks*) o índice de expansão (IE) e volume específico (VE) e nas e farinhas pré-gelatinizadas o índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA) e os parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE).

O IAA e o ISA foram determinados conforme método de Anderson et al. (1969) e calculados segundo as equações 1 e 2. A determinação do IE dos extrusados foi realizada pela medição do diâmetro externo dos produtos, e foi calculada pela equação 3, segundo Faubion e Hosney (1982). O VE dos extrusados foi determinado por deslocamento de sementes de painço e calculado com a equação 4. As determinações dos parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE) foram realizadas utilizando colorímetro Colorquest, Hunter Lab.

$$\text{IAA (\%)} = \frac{\text{massa do resíduo da centrifugação}}{\text{massa da amostra} - \text{resíduo da evaporação}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{ISA (\%)} = \frac{\text{(peso do resíduo da evaporação)}}{\text{(peso seco da amostra)}} \quad (\text{Equação 2})$$

Tabela 1. Delineamento experimental utilizado para o estudo do efeito da temperatura de extrusão e da umidade das misturas (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca sobre a qualidade dos *snacks* e farinhas pré-gelatinizadas

Tratamentos	Variáveis independentes			
	Valores codificados		Valores reais	
	Temperatura	Umidade	T ¹	U ²
1	-1	-1	70	13,16
2	+1	-1	110	13,16
3	-1	+1	70	18,84
4	+1	+1	110	18,84
5	-1,41	0	61,72	16
6	1,41	0	118,28	16
7	0	-1,41	90	12
8	0	1,41	90	20
9	0	0	90	16
10	0	0	90	16
11	0	0	90	16
12	0	0	90	16

¹ °C;

² g (100 g)⁻¹

$$\text{Índice de expansão} = \frac{\text{Diâmetro médio do produto}}{\text{Diâmetro interno da matriz}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{Volume específico (VE)} = \frac{\text{volume (ml)}}{\text{Massa (g)}} \quad (\text{Equação 4})$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados obtidos foram elaborados modelos matemáticos que expressam a relação entre as condições codificadas de processamento empregadas em cada experimento e os valores obtidos para o IE, VE, IAA, ISA, L*, a*, b* e ΔE (tabela 2).

Tabela 2. Modelos de regressão múltipla ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para índice de expansão (IE), volume específico (VE) e parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* , c^* e ΔE^*) dos *snacks* constituídos de mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca em função dos níveis codificados de temperatura de extrusão (x_1) e da umidade (x_2).

Componente	Modelo	R^2
IE	$y_1 = 1,905 - 0,07x_1 - 0,26x_2 - 0,23x_1^2 - 0,15x_2^{2*}$	0,824
VE	$y_2 = 7,029 + 1,59x_1 - 1,23x_2 + 1,17x_1^2 - 1,43x_1x_2 + 1,28x_2^2$	0,813
L^*	$y = 45,189 + 1,37x_1 - 2,00x_2 - 3,00x_1^2 + 4,67x_1x_2 - 8,25x_2^2$	0,958
a^*	$y = 7,497 + 0,23x_2 - 0,77x_1^2 + 0,60x_1x_2 - 1,53x_2^2$	0,946
b^*	$y = 17,835 + 0,29x_1 - 0,50x_1^2 - 0,24x_1x_2 - 0,79x_2^2$	0,773
ΔE^*	$y = 12,391 - 1,31x_1 + 2,01x_2 + 2,54x_1^2 - 4,60x_1x_2 + 7,60x_2^2$	0,957
IAA	$y = 9,624 - 0,61x_1 - 1,18x_1^2 - 1,87x_2^2$	0,880
ISA	$y = 76,084 - 5,97x_1^2 - 1,98x_1x_2^* - 7,70x_2^2$	0,826

* Efeitos em *itálico* não foram significativos, porém foram mantidos para melhoria do ajuste do modelo

Todos os modelos ajustados foram significativos ($p \leq 0,05$), com coeficientes de determinação explicando entre 77,3 a 95,80% das respostas. O efeito linear da temperatura de extrusão (x_1) foi significativo ($p \leq 0,05$) para IE e IAA. O efeito linear da umidade (x_2) foi significativo ($p \leq 0,05$) para os modelos de IE, luminosidade L^* e diferença de cor ΔE . O efeito quadrático da temperatura foi significativo para todos os modelos, exceto para o VE. O efeito quadrático da umidade somente foi significativo ($p \leq 0,05$) para L^* , a^* , b^* , ΔE^* , IAA e ISA. O efeito da interação da temperatura com o teor de umidade foi significativo ($p \leq 0,05$) para L^* , a^* e ΔE^* . Apesar de não significativos ($p > 0,05$), o efeito linear da umidade (x_2) foi mantido no modelo de a^* ($p = 0,13$) e VE ($p = 0,055$), assim como o efeito quadrático da umidade no IE ($p = 0,06$) e VE ($p = 0,07$), o efeito linear da temperatura (x_1) nos modelos de b^* ($p = 0,13$), L^* ($p = 0,108$), ΔE^* ($p = 0,104$) e IE ($p = 0,26$), o efeito quadrático da temperatura para o VE ($p = 0,09$) e o efeito da interação da temperatura com o teor de umidade para b^* ($p = 0,35$), VE ($p = 0,09$) e ISA ($p = 0,315$). Os efeitos não significativos foram mantidos, pois os modelos apresentaram os melhores coeficientes de determinação ajustados.

O índice de expansão (IE) provavelmente seja a característica física mais importante de produtos extrusados. Pelo VE, assim como o IE, busca-se descrever, de forma indireta, o grau de "transformação" do grânulo de amido e as variações de massa e volume que sofreu a massa amilácea ao sair do extrusor (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). Os

gráficos de superfície de resposta e curvas de nível elaborados a partir do modelo ajustado para o IE está apresentado na Figura 1A.

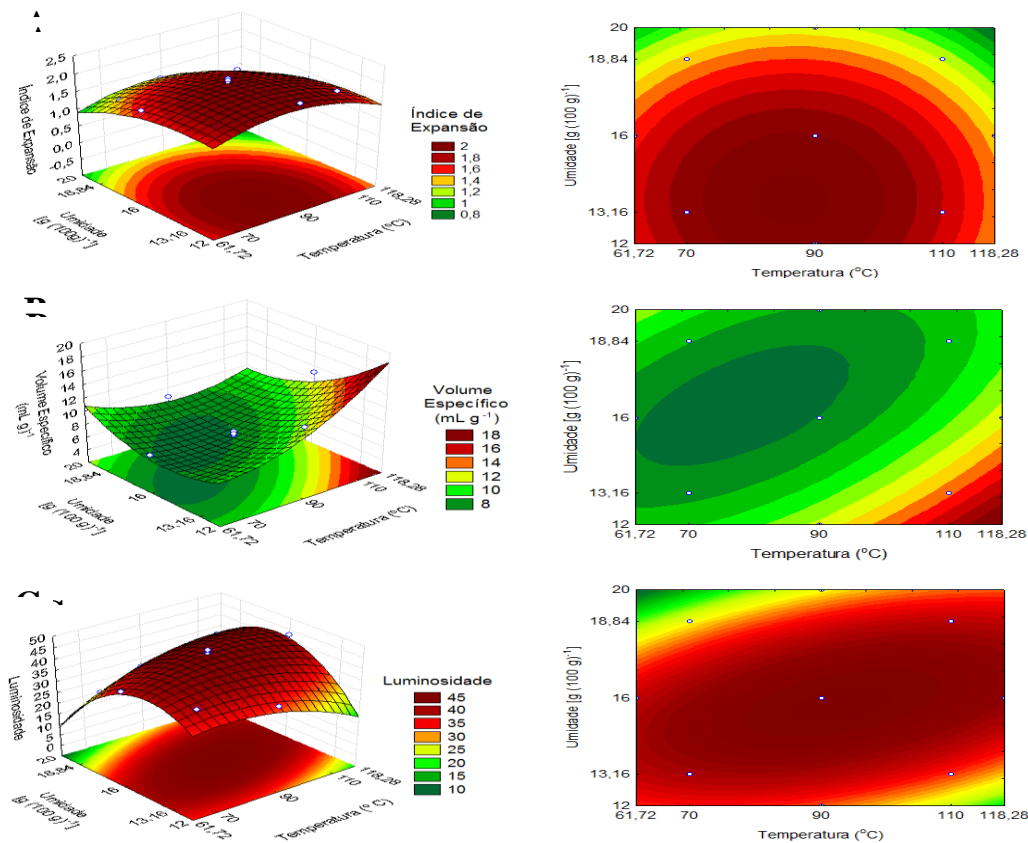


Figura 1. A- Índice de expansão (IE), B - volume específico (VE) e C - Luminosidade dos *snacks* constituídos da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) em função da umidade [g (100 g)⁻¹] e da temperatura de extrusão (°C)

O máximo valor de IE (2,0), foi determinado quando a amostra foi extrusada com menores teores de umidade [até 15,92 g (100 g)⁻¹] e temperatura intermediária (72,44 – 102,68 °C). Por outro lado, os menores valores de IE (abaixo de 1,2) foram encontrados em condições de maiores teores de umidade [acima de 17,28 g (100 g)⁻¹] e de temperatura acima de 92,93 °C. Segundo Ding et al. (2005), o aumento da quantidade de água, durante a extrusão, pode mudar a estrutura molecular da amilopectina do material, agindo como um plastificante para materiais amiláceos, reduzindo a viscosidade e a dissipação da energia mecânica na extrusora e, assim, o produto fica mais denso e o crescimento de bolhas é comprimido, diminuindo assim a expansão.

Vários trabalhos têm demonstrado que o IE decresce significativamente com o incremento do teor de umidade. Estas evidências foram constatadas por Clerice e El-Dash (2008), extrusando farinha de arroz e por Chang e El-Dash (2003), extrusando fécula de mandioca. Esse fenômeno acontece pela relação que ocorre entre a quantidade de água e a força do gel formado durante a extrusão. Em amostras extrusadas com alto teor de umidade, o gel tende a ser mais elástico, formando uma matriz de pequenas células uniformes. Borba, Sarmiento e Leonel (2005), avaliando o efeito de parâmetros operacionais na extrusão de farinha de batata doce, obtiveram IE de 1,9 a 2,6, sendo que nas condições de baixa umidade (15%) foram obtidos os maiores IE, assim como neste estudo. O IE dos extrusados pode ser visualizado na figura 2.

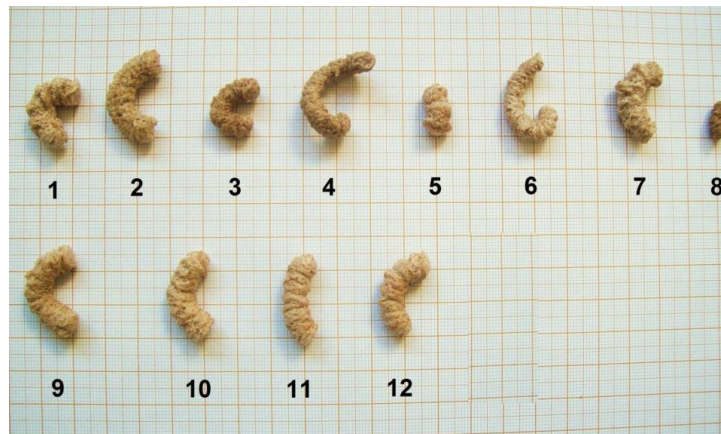


Figura 2. Índice de expansão de snacks de fécula e farinha de bagaço de mandioca em função do teor de umidade e da temperatura de extrusão 1)70 °C e 13,1 g (100 g)⁻¹; 2)110 °C e 13,1 g (100 g)⁻¹; 3) 70 °C e 18,8 g (100 g)⁻¹; 4) 110 °C e 18,8 g (100 g)⁻¹; 5) 61,7 °C e 16 g (100 g)⁻¹; 6) 118,3 °C e 16 g (100 g)⁻¹; 7) 90 °C e 12 g (100 g)⁻¹; 8) 90 °C e 20 g (100 g)⁻¹; 9) 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹; 10) 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹; 11) 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹; 12) 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹.

Observa-se na Figura 1B, que os maiores valor de volume específico (VE), acima de 14 mL g⁻¹, foram obtidos quando a amostra foi extrusada com menores teores de umidade [abaixo de 15,02 g (100 g)⁻¹] e temperatura elevada (acima de 97,54 °C). Como foi demonstrado por outros autores, que utilizaram diferentes matérias-primas (CHINNASWAMY; HANNA, 1988; MENDONÇA; GROSSMANN; VERBÉ, 2000; SOARES JÚNIOR et al., 1999) as temperaturas mais elevadas promoveram um maior grau de gelatinização da fração amilácea, diminuindo o VE dos produtos. Segundo Hashimoto e

Grossman (2003), embora as temperaturas mais elevadas e umidades mais baixas causem menores IE, como foi constatado no presente estudo, os maiores VEs encontrados nestas condições, podem ser ocasionados por uma maior expansão axial, devido a adição do bagaço de mandioca, resultando em extrusados mais longos, porém mais finos. O VE é uma medida de expansão volumétrica, ou seja, a soma das expansões radial e axial. Launay e Lisch (1983) relatam que o fenômeno da expansão é basicamente dependente das propriedades viscoelásticas da massa derretida. Quanto a temperatura aumenta, a viscosidade do fundido é reduzida e a expansão axial também aumenta. Por outro lado, os menores valores de VE (abaixo de 8 mL g^{-1}), foram encontrados em condições intermediárias de teor de umidade, de 14,26 a 18,49 g (100 g)⁻¹ e temperaturas abaixo de 93,77 °C. Pois com a diminuição da temperatura a gelatinização do amido é reduzida e o crescimento das bolhas é comprimido, resultando em um produto final mais denso e de baixa crocância (DING et al., 2005).

Hashimoto e Grossman (2003), em estudo com misturas de bagaço e FM extrusados, observaram que o VE dos extrusados aumentou quando o conteúdo de umidade foi mantido entre 16 e 18 g (100 g)⁻¹ e temperaturas de extrusão entre 177 e 200 °C.

Em estudos com salgadinhos de polvilho azedo e bagaço de mandioca desidratado (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008), o VE dos produtos extrusados com diferentes proporções de bagaço (0,5-7,5 %) variou de 1,5 a 5,6 mL g⁻¹, sendo estes resultados inferiores aos encontrados no presente estudo, pois, segundo estes autores, altos teores de fibras aliados a teores de umidade de até 18 g (100 g)⁻¹, reduzem o VE dos produtos extrusados. Entretanto, no presente estudo, utilizou-se quantidade muito maior de FBM (30%) e umidades levemente superiores [até 20 g (100 g)⁻¹] e ainda assim, obteve-se valores superiores de VE, provavelmente devido a maior expansão axial ocasionada devido a adição da FBM, resultando em *snacks* mais longos, conforme discutido anteriormente.

O VE de produtos expandidos é uma característica física importante, pois interfere diretamente no dimensionamento da embalagem, e por consequência, no custo do produto (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002).

A cor é uma qualidade sensorial importante dos produtos alimentícios. Existem algumas reações que ocorrem durante a extrusão que afetam a cor. As condições de processamento utilizadas na extrusão (alta temperatura e baixa umidade) favorecem 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. Assim, mudanças de cor durante o processo de extrusão podem

ser um indicador para avaliar a intensidade do processo em relação às mudanças químicas e nutricionais (ILO; BERGHOFER, 1999).

Os valores de luminosidade dos *snacks* obtidos após a extrusão (Figura 1C) foram menores quando comparado com a luminosidade da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca crua (56,23), ou seja, o *snack* tornou-se mais escuro que sua matéria-prima. O escurecimento conforme a intensidade, pode comprometer a aceitação dos produtos extrusados obtidos (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

Observou-se que em condições mais drásticas de processamento, ou seja, temperatura acima de 108,85 °C e umidade máxima de 12,6 g (100 g)⁻¹, os valores de L* foram pequenos (até 22). Esses mesmos valores também foram encontrados em umidades acima de 18,19 g (100 g)⁻¹ e temperatura de extrusão até 82,46 °C. No entanto, com umidade e temperatura em níveis intermediários 14,42 a 16,68 g (100 g)⁻¹ e 80,57 a 108,85 °C, respectivamente, ocorreu menor escurecimento dos *snacks*, ou seja, obtêve-se a maior L* (45), representada no gráfico de superfície pela concavidade para baixo, que indica um ponto de máximo valor deste componente (Figura 1C). Segundo Badrie e Mellowes (1991), níveis intermediários de umidade e temperatura resultaram em produtos mais claros, e com o aumento da umidade reduz-se o tempo de residência, proporcionando menor escurecimento não enzimático dos produtos extrusados.

Os gráficos de curvas de nível e de superfície de resposta elaborados a partir dos modelos ajustados para croma a* e b* e diferença de cor (ΔE^*) dos *snacks* estão apresentados na Figura 3. Houve aumento de a* após a extrusão, pois o valor de a* da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca crua era pouco menor (3,32), mostrando que o processo de extrusão intensifica levemente cor vermelha dos *snacks*. O máximo valor de a* (7) das misturas de fécula e farinha de bagaço de mandioca extrusados foi obtido entre 15,13 e 17,74 g (100 g)⁻¹ de umidade e 80,57 a 101,52 °C de temperatura. Observou-se que depois dos *snacks* alcançarem um máximo de a*, este valor decresceu após 101,52 °C e 17,74 g (100 g)⁻¹ de umidade (Figura 3A). Ou seja, nas condições intermediárias de umidade e de temperatura de extrusão, ocorreram os maiores valores para o croma a*.

A coordenada b*, representa a variação de cor entre o azul (-60) e o amarelo (+60). Houve pequena variação entre os *snacks* para este componente de cromaticidade, contudo, todas as amostras mostraram presença de pigmentos amarelos, tendo ocorrido um aumento deste parâmetro quando comparado ao observado na farinha antes da extrusão (14,30). O máximo valor de b* (17,5) dos *snacks* foi obtido entre 14,94 – 17,22 g (100 g)⁻¹ de umidade e 85,81 – 107,81 °C de temperatura. Observou-se também que depois dos *snacks* alcançarem

um máximo valor de b^* , ocorreu um decréscimo após 107,81 °C e 17,22 g (100 g)⁻¹ de umidade, diminuindo ligeiramente a intensidade do amarelo (efeito quadrático) (Figura 3B).

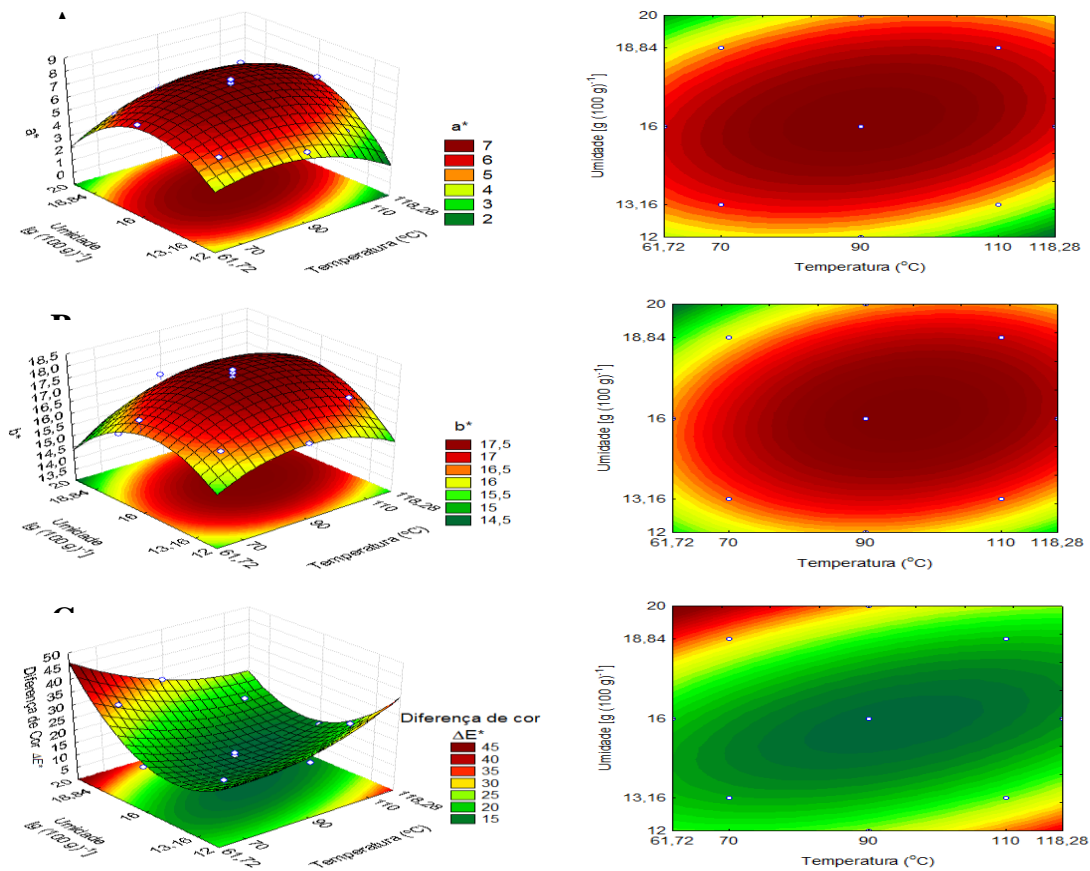


Figura 3. Coordenadas de cromaticidade a^* (A) e b^* (B) e diferença de cor ΔE^* (C) dos *snacks* constituídos da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) em função da umidade [g (100 g)⁻¹] e da temperatura de extrusão (°C).

A diferença de cor refletiu a influência das variáveis de extrusão nas características de cor das farinhas em relação ao seu aspecto antes do processamento. Observou-se que ocorreu diminuição da diferença de cor ΔE^* com teores de umidade e temperatura de extrusão intermediários. O menor ΔE^* (15) entre as misturas de fécula e farinha de bagaço de mandioca antes e após a extrusão foi encontrado entre 15,02 – 16,09 g (100 g)⁻¹ de umidade e temperaturas intermediárias 81,62 a 106,76 °C, provavelmente estes níveis de temperatura e umidade não favoreceram a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático. Após 16,09 g (100 g)⁻¹ de umidade e 106,76 °C de temperatura, o valor de ΔE^* aumentou provavelmente porque se intensificam a velocidade de formação de polímeros com estrutura variável, como os caramelos (Figura 3C).

Durante a caramelização, a termólise provoca desidratação e geração de ligações duplas com formação de anéis e compostos lábeis que se condensam e formam polímeros que dão a cor e o aroma de caramelo (OETTERER, 2006). Temperaturas inferiores a 75 °C e umidades abaixo de 15,02 g (100 g)⁻¹ não favorecem a reação de caramelização e de Maillard, pois a cor mais escura adquirida pelos produtos extrusados pode ser consequência da caramelização ou da reação de Maillard (GUTKOSKI; EL-DASH, 1999), principalmente em materiais que apresentam teores relativamente altos de amido, como é o caso da fécula de mandioca. Este comportamento também foi parcialmente observado por SEBIO (1996), ao extrusar farinha de inhame, verificando que a diferença de cor cresce à medida que a temperatura de processo se eleva. Os menores valores de ΔE^* ocorreram quando a temperatura e a rotação estavam em seus níveis mais baixos.

Os gráficos de curva de nível e de superfície de resposta elaborados a partir dos modelos ajustados para o IAA e ISA estão apresentados na Figura 4.

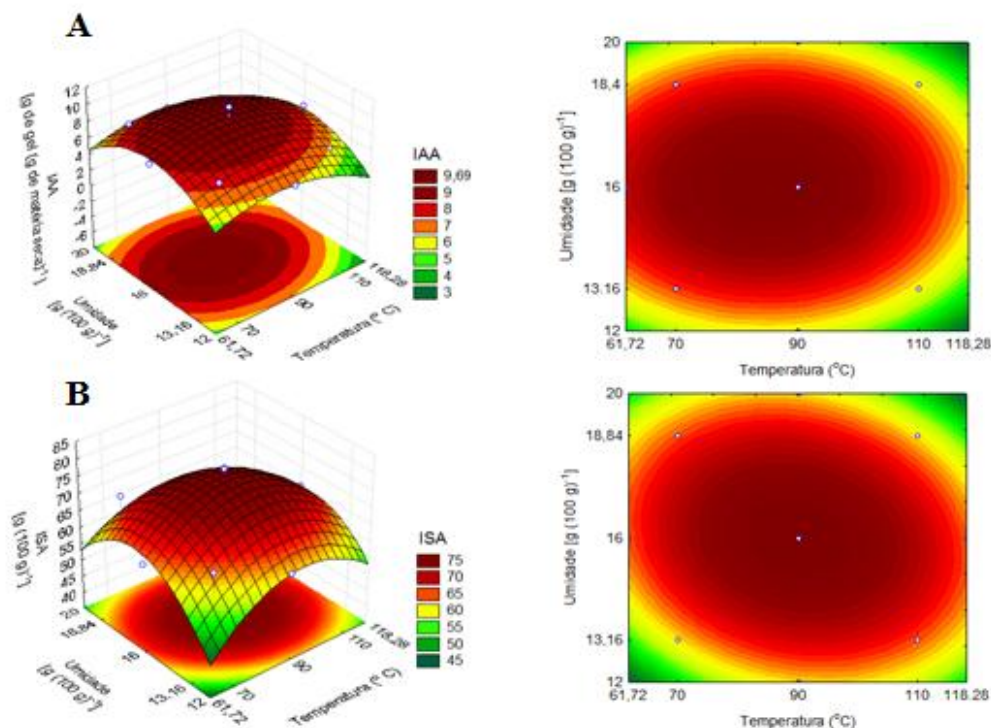


Figura 4. Índice de solubilidade em água – ISA (A), índice de absorção de água – IAA (B da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca extrusada (70:30) em função da umidade [g (100 g)⁻¹] e da temperatura de extrusão (°C)

Os valores de IAA das misturas após extrusão com diferentes condições de umidade e de temperatura, foram superiores ao IAA da MFBM crua [2,83 g de gel (g de matéria seca)⁻¹], sendo que os maiores valores foram observados em condições intermediárias de umidade e temperatura, representado pela região mais escura do gráfico. O máximo valor de IAA [9 g de gel (g de matéria seca)⁻¹] foi obtido entre 14,67 e 17,14 g (100 g)⁻¹ de umidade e 73,5 a 97,07 °C de temperatura. Os valores altos da IAA encontrados na mistura extrusada em relação à mistura crua são considerados bastante desejáveis na utilização destas em produtos de panificação e de preparo rápido, como produtos instantâneos (macarrões, pudins, sopas e mingaus) pois permite a adição de mais água à massa, melhorando suas características de manuseio e evitando o ressecamento do produto durante o armazenamento (CLERICI; EL-DASH, 2008).

O baixo cisalhamento e/ou baixa temperatura resultam em cadeias de polímeros maiores e não danificadas e uma grande disponibilidade de grupos hidrofílicos, aos quais se ligam as moléculas de água, resultando em altos valores de IAA. Valores elevados de IAA também podem estar relacionados a altos teores de umidade durante o processo de extrusão, combinados com baixas taxas de cisalhamento, pois a água funciona como lubrificante no meio, ocasionando redução de atrito do parafuso e da parede interna do tubo extrusor sobre as moléculas de amido, resultando, assim, em menor degradação da amilose e amilopectina e consequentemente, em aumento do IAA (SILVA et al., 2008).

Depois dos grânulos de amido alcançar o máximo de capacidade de absorção de água, o IAA decresce com o começo da dextrinização (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). Observa-se que o IAA das FPGs experimentais decresceu após 90 °C com aumento da temperatura, provavelmente por que ocorreu a dextrinização do amido. Com o aumento da temperatura e da umidade ocorreu o aumento do grau de gelatinização, a fragmentação do amido aumentou e, com isso, diminuiu a absorção de água assim como nos estudos de Borba, Sarmiento e Leonel, (2005) e de Carvalho, Ascheri e Cal-Vidal, (2002). A baixa capacidade de absorver água poderia ser desejável em produtos onde a integridade estrutural e a termoestabilidade seriam importantes (CHANG et al., 2001). A elevação do IAA com o aumento da temperatura também foi observado por Hashimoto e Grossmann (2003), ao extrusar misturas de fécula e bagaço de mandioca, no qual a umidade variou de 16 a 20 g (100 g)⁻¹, os valores de temperatura de 150 a 210 °C e a rotação do parafuso do extrusor de 120 a 180 rpm. Segundo esses autores, isso acontece, provavelmente devido às mudanças estruturais nos componentes da fibra presente no bagaço, formando uma estrutura mais aberta, permitindo a absorção e retenção de água. Os valores encontrados variaram entre 3,5 a 6,0 [g

de gel (g de matéria seca)⁻¹], ligeiramente inferiores aos encontrados neste estudo, provavelmente porque esses autores utilizaram temperaturas mais elevadas (150 - 210 °C), levando a menores valores de IAA. Os valores de IAA obtidos no presente estudo aproximaram-se dos obtidos em estudos com farinha de mandioca e caseína extrusada, que variaram de 3,45 a 11,01 [g de gel (g de matéria seca)⁻¹] (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). Em estudos com salgadinhos de polvilho azedo e bagaço de mandioca foram observados índices de absorção de água com variação de 4,8 a 11,9 [g de gel (g de matéria seca)⁻¹], no qual tratamentos com maiores quantidade de bagaço proporcionaram efeito acentuado de elevação do IAA (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008).

O valor de ISA na farinha mista de bagaço e fécula de mandioca crua [0,78 g (100 g)⁻¹] foi menor que os obtidos após a extrusão. Isso pode ser explicado pelo fato de que a mistura crua não apresentava amido dextrinizado, como nas farinhas pré-gelatinizadas.

Observou-se que os maiores valores de ISA misturas pré-gelatinizadas foram obtidos em condições intermediárias de umidade e temperatura, pois decresceu com aumento do teor de umidade e da temperatura após a obtenção do máximo valor [75 g (100 g)⁻¹] que foi verificado entre 15,05 e 16,95 g (100 g)⁻¹ de umidade e 82,93 a 98,25 °C de temperatura (Figura 4).

O aumento da umidade pode ter contribuído para a diminuição do atrito, pois a água funciona como lubrificante, levando a menores valores de ISA (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). A diminuição do ISA com a elevação da temperatura também foi observada por Hashimoto e Grossmann (2003), nas misturas extrusadas de fécula e bagaço de mandioca com maiores quantidades de bagaço de mandioca (50%). Segundo esses autores, a redução deste índice ocorreu devido a interações entre as fibras e o amido presentes no bagaço e na fécula de mandioca, respectivamente. Os resultados para ISA obtidos nos diferentes experimentos de extrusão deste estudo mostraram valores superiores aos encontrados por Lustosa; Leonel e Mischan (2009), em estudos com farinha extrusada de mandioca e caseína, no qual obtiveram ISA variando de 20,47 a 49,76 g (100 g)⁻¹. Entretanto, aproximam-se dos valores encontrados em farinha pré-gelatinizada de inhame, produto semelhante à mandioca por ser uma raiz amilácea, entre 47,15 e 70,38 g (100 g)⁻¹ (LEONEL et al., 2006). Em estudo com a extrusão de misturas de farinha de banana, de arroz e de trigo, sob temperaturas entre 65 e 70 °C e 35 g (100 g)⁻¹ de umidade, Carvalho, Ascheri e Cal-Vidal (2002) observaram maior degradação dos grânulos de amido, o que contribuiu para o aumento do ISA. Ao extrusar fécula de mandioca com fibras de laranja (90:10) utilizando temperaturas entre 40 e 90 °C e teor de umidade de 12,5 a 19,5 g (100 g)⁻¹; Leonel, Souza e Mischan (2010),

obtiveram ISA variando de 37,76 a 84,93 g (100 g)⁻¹, valores próximos aos obtidos neste trabalho. Farinhas com elevados valores de ISA, podem ser empregadas em produtos que requerem menores temperaturas para serem preparados como alimentos instantâneos e geleificados: sopas, molhos, pudins, sobremesas, etc. (AUGUSTO-RUIZ et al., 2003; SOUZA; LEONEL, 2010; TROMBINI; LEONEL, 2010).

CONCLUSÃO

A umidade da mistura de fécula de mandioca e farinha de bagaço de mandioca (70:30) e temperatura de extrusão interferem significativamente nas propriedades físicas dos *snacks* e das farinhas pré-gelatinizadas, possibilitando sua aplicação destinadas em diferentes produtos alimentícios. Produtos claros, mais amarelados e com elevada expansão e volume específico intermediário, foram obtidos nas condições intermediárias temperatura de extrusão (104,10 °C), e umidade das misturas [16 g (100 g)⁻¹], sendo estas as condições mais adequadas para a elaboração de *snacks* de mistura de fécula de farinha de bagaço de mandioca. Para a obtenção de farinhas pré-gelatinizadas com elevados índices de absorção e solubilidade em água as condições de extrusão mais adequadas foram 90 °C de temperatura e 16 [g (100 g)⁻¹] de umidade.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIF-FN, L. J. Gelatinization of corn grift by roll and extrusion cook. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.
- AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S. R.; SILVA ARRIECHE, L.; VAZ ALVES, F. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, Rio Grande, v. 13, n. 1, p. 25-46, 2003.
- BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, p. 1334-1337, 1991.
- BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835- 843, 2005.
- CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CEREDA, M.P. Caracterização de subprodutos da industrialização da mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v.4. cap.1. p.13-37. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

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.

CHANG, Y. K.; HASHIMOTO, J. M.; ACIOLI-MOURA, R.; FLORES, H. E. M.; BUSTOS, F. M. Influence of extrusion condition on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 189-203, 2001.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 65, n. 2, p. 138-143, 1988.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

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**, Essex, v. 66, n. 5, p. 283-289, 2005.

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

FREITAS, T.S.; LEONEL, M. Influência dos parâmetros operacionais na cor de féculas de mandioca pré-gelatinizadas por extrusão. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DA MANDIOCA, 2007, Paranavaí. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 3. n. 1, p. 1-4, 2007.

GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. **Plant Foods for Human Nutrition**, Huston, v. 54, p. 315-325, 1999.

HASHIMOTO, J. M.; GROSSMAN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.

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.

LAUNAY, B.; LISCH, J. M. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 2, p. 259–280, 1983.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p.122-127, 2000.

LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATAURO R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 459-464, 2006.

LEONEL, M.; SOUZA, L. B.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1411-1417, 2010.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência dos parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, 2009.

MENDONÇA, S.; GORSSMANN, M. V. E.; VERBÉ, R. Corn bran as a fiber source in expanded *snacks*. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 33, p. 2-8, 2000.

OETTERER, M. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Ed. Manole. 2006, p. 171-176.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. 1996. 102 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996. Disponível em: <<http://www.fea.unicamp.br/deptos/dta/.../dissertacoes.html>>. Acesso em: 10 mai. 2010.

SILVA, E. M. M; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; CARVALHO, L. M. J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e Índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 239-254, 2008.

SOARES JÚNIOR, M. S.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F.; CALIARI, M.; SPINOSA, W. A. Expansion and hydration properties of cassava starch extruded with emulsifier. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. (1,2), p. 57-61, 1999.

SOUZA, L. B.; LEONEL, M. Efeito da concentração de fibra e parâmetros operacionais de extrusão sobre as propriedades de pasta de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 686-692, 2010.

TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M. Propriedades de pasta e térmicas de misturas instantâneas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 50-71, 2010.