



Ciência e Tecnologia de Alimentos

ISSN: 0101-2061

revista@sbcta.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência e  
Tecnologia de Alimentos  
Brasil

ASCHERI, Diego P.R.; ANDRADE, Cristina T.; CARVALHO, Carlos W.P.; ASCHERI,  
José L.R.

EFEITO DA EXTRUSÃO SOBRE A ADSORÇÃO DE ÁGUA DE FARINHAS MISTAS PRÉ  
-GELATINIZADAS DE ARROZ E BAGAÇO DE JABUTICABA

Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol. 26, núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 325-335

Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos

Campinas, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=395940078015>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# EFEITO DA EXTRUSÃO SOBRE A ADSORÇÃO DE ÁGUA DE FARINHAS MISTAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ E BAGAÇO DE JABUTICABA<sup>1</sup>

Diego P.R. ASCHERI<sup>2,\*</sup>, Cristina T. ANDRADE<sup>3</sup>, Carlos W.P. CARVALHO<sup>4</sup>, José L.R. ASCHERI<sup>3</sup>

## RESUMO

O efeito das variáveis de extrusão de misturas de farinha de arroz polido (FAP) e de bagaço de jabuticaba (FBJ) foi estudado em função das características de adsorção de água e da estabilidade dos produtos extrusados (FME). A metodologia de superfície de resposta (MSR) do tipo 2<sup>3</sup> foi usada para a obtenção de um modelo matemático preditivo para a estabilidade das farinhas. O desenho experimental foi elaborado para verificar o efeito de dois níveis de substituição de FBJ como fonte de fibra (15 e 25%), dois níveis de velocidade de rotação do parafuso (100 e 200 rpm) e duas condições de aquecimento na 3ª zona do extrusor (120 e 180°C), originando oito tratamentos. As características de adsorção de água das FAP, FBJ e de suas misturas foram comparadas e estudadas por meio de isoterms de adsorção expressas como atividades de água ( $A_w$ ), que variaram de 0,113 a 0,973, a temperatura de 25°C. Os dados experimentais das isoterms foram ajustados a modelos matemáticos de GAB, o que originou o coeficiente  $X_m$  (umidade de equilíbrio na monocamada) aplicada à MSR como variável resposta para avaliar a estabilidade das farinhas extrusadas. Os resultados obtidos permitiram verificar a importância das três variáveis durante o processo de extrusão. As curvas das isoterms apresentaram características de superfícies hidrofílicas de forma sigmoide do tipo II. A região de umidade intermediária das isoterms revelou que a FAP adsorve maior quantidade de água por unidade de  $A_w$ , seguida pelas misturas extrusadas. A FBJ mostrou ser menos higroscópica neste caso. Quanto à estabilidade das misturas extrusadas, as três variáveis de extrusão foram significativas, verificando-se um aumento com o aumento da FBJ e com o aumento da temperatura, enquanto que houve um decréscimo com a velocidade de rotação, porém, de menor efeito. A combinação de valores elevados de temperatura e porcentagem de FBJ aumentou a estabilidade das farinhas extrusadas.

**Palavras-chave:** Extrusão termoplástica, farinha de arroz, isoterms de adsorção de água, frutos tropicais, modelo matemático de GAB.

## SUMMARY

EFFECT OF EXTRUSION ON THE WATER ADSORPTION OF PRE-GELATINIZED FLOURS FROM RICE AND JABUTICABA BAGASSE. It was studied the effect of extrusion variables on the water absorption characteristics of pre-gelatinized flours (FME) resulting from the extrusion of white rice (FAP) and jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba*) dried bagasse flour (FBJ). Response surface methodology (RSM) type 2<sup>3</sup> was used as a predictive mathematical model to evaluate the flour stability. The experimental design was used to study the effect of two levels of FBJ replacement as a fiber source (15 and 25%), two levels of screw speed (100 and 200 rpm) and two temperatures of the 3<sup>rd</sup> heating zone (120 and 180°C) resulting in eight treatments. The water absorption of FME, FAP and FBJ were compared by analysing the absorption isotherms water activity ( $A_w$ ), which varied from 0.113 to 0.973 at 25°C. The isotherms experimental data were adjusted to GAB mathematical model, which generated the  $X_m$  (equilibrium moisture of the monolayer) coefficient applied to RSM as a variable response to evaluate the stability of the pre-gelatinized flours. The results showed the importance of the three variables during the extrusion process. The isotherms curves presented a typical surface hydrophilic characteristic having a sigmoidal type II shape. The region of intermediate moisture revealed that FAP adsorbed higher water content per unit of  $A_w$ , followed by FME. FBJ showed the lowest hygroscopic character. Concerning the stability of pre-gelatinized flour, the three extrusion variables were statistically significant. The stability increased with the increase of FBJ flour content and also with the extruder temperature, whereas it decreased as the screw speed reduced, although with lower effect. The combination of high temperature and FBJ content improves the stability of the extruded flours.

**Keywords:** extrusion, rice flour, adsorption isotherms, tropical fruits, GAB mathematical model.

## 1 - INTRODUÇÃO

A Jabuticabeira (*Myrciaria jaboticaba*) ocupa lugar de destaque entre as plantas frutíferas tropicais, em face da crescente comercialização de seus produtos principais: frutos, sucos e derivados como licores e análogos de vinho

[29]. A Jabuticaba é um dos frutos tropicais de alto valor nutricional, pois possui alto teor de carboidratos, fibras, vitaminas, flavonóides e carotenóides e, ainda, sais minerais como ferro, cálcio e fósforo, comparado com outros similares [6, 7, 19, 34].

Em decorrência do crescimento da produção de jabuticaba nas diferentes regiões do Brasil, principalmente visando a exploração da polpa para elaboração de licor de jabuticaba ou análogos de vinho [6, 7], o bagaço resultante é normalmente descartado não sendo, portanto, usado para outros fins produtivos. Nesse sentido, visando o aproveitamento do bagaço, uma farinha mista de arroz e de bagaço de jabuticaba foi obtida por extrusão. Devido ao alto teor em fibras e outros constituintes alimentícios, acredita-se que possa vir a ser utilizada na elaboração de produtos manufaturados de caráter dietético, como na fabricação de biscoitos de baixo teor calórico.

A extrusão é um processo contínuo, onde o trabalho mecânico, combinado com calor, gelatiniza o amido, desnatura

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 9/2/2005. Aceito para publicação em 28/4/2006 (001478)

<sup>2</sup>Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás (UEG). BR-153, km 3

Caixa Postal 459, Bloco Arco Verde, CEP 75110-390 – Anápolis (GO)

E-mail: ascheridpr@uol.com.br

<sup>3</sup>Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Bloco J, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Caixa Postal 68525,

CEP 21945-970 – Rio de Janeiro (RJ). E-mail: ctandrade@ima.ufrj.br

<sup>4</sup>Embrapa Agroindústria de Alimentos,

Avenida das Américas, 29.501, Guaratiba,

CEP 23020-470 – Rio de Janeiro (RJ)

E-mail: cwpiler@ctaa.embrapa.br; ascheri@ctaa.embrapa.br

A quem a correspondência deve ser enviada

as proteínas e, além de favorecer a formação de complexos entre lipídios, proteínas e amido, plastifica e reestrutura o material, comprimindo-o através de uma matriz, com o objetivo de criar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas [10-12, 16, 23, 26, 33, 36].

Para LAUNAY E KONE [28], a extrusão termoplástica é um processo muito eficiente para gelatinizar o amido. Materiais amiláceos, como o arroz, têm elevado teor de amido e, quando extrusados, sofrem desordenação molecular e perda de cristalinidade em função das variáveis combinadas do processo de extrusão [14, 17]. Durante a extrusão a quente, os grânulos de amido absorvem água, incham e gelatinizam-se. Sua estrutura granular é rompida, dando lugar a uma massa viscosa e plástica [33].

FERREIRA [22] cita que, durante a extrusão, as proteínas nativas passam por uma total desagregação, com a fusão em uma suspensão homogênea que propicia a desnaturação, dissociação e formação de filamentos que se alinham no sentido do fluxo até a expulsão da máquina. Nas transformações químicas da desnaturação, as forças de estabilização das estruturas terciárias e quaternárias da proteína são enfraquecidas pela combinação da temperatura alta e da compressão dentro do extrusor. São rompidas ligações iônicas, dissulfeto, pontes de hidrogênio e interações fracas do tipo van der Waals. Com essa desnaturação surgem proteínas com diferentes pesos moleculares, bem como aminoácidos até então indisponíveis, podendo ocorrer reação com açúcares redutores e outros componentes (reação de Maillard).

Durante a extrusão pode ocorrer a solubilização da fibra de algumas fontes alimentares dependendo da severidade do processo (alta temperatura, alta velocidade do parafuso e baixo teor de umidade). Segundo GUY [24], MÉRCIER [32] e WESTENBROEK [38], em condições brandas ou moderadamente severas de processamento por extrusão, não há mudanças no teor de fibra total de forma significativa.

De um modo geral, constituintes químicos de materiais crus, principalmente amidos e proteínas, liberam grupos hidrofílicos (sítios de adsorção de água) durante o processo de extrusão. Amidos liberam radicais  $-OH$  e proteínas  $-NH_3^+$  e/ou  $C=O^-$  e ficam disponíveis para formar pontes de hidrogênio com a água [13, 25]. Se a disponibilidade de grupos hidrofílicos for grande, materiais amiláceos como milho, trigo, arroz e outros cereais transformam-se em produtos solúveis [5, 14, 15, 20, 26, 36]. Amidos solúveis são mais higroscópicos do que amidos nativos, isto é, tendem a adsorver umidade relativa do ar com grande facilidade até atingir o equilíbrio dinâmico, onde o conteúdo de umidade do produto é igual ao conteúdo de umidade de equilíbrio ( $X_e$ ), para as condições de temperatura e umidade relativa do ar [4].

A higroscopicidade dependerá em grande parte das variáveis do processo de extrusão. De um modo geral, a perda do arranjo molecular dos grânulos de amido aumenta com a elevação da temperatura, com o decréscimo do conteúdo de umidade, com a diminuição da velocidade do parafuso [3, 14, 15].

Na literatura consultada não foram encontradas referências sobre o efeito dos parâmetros de extrusão sobre as características de adsorção de água em produtos amiláceos com teor variado de material fibroso; no entanto, CARVALHO [14] e CARVALHO *et al.* [15] referem-se ao fato de que o amido nativo ao não ser solúvel em água a temperatura ambiente, quando extrusada sua capacidade de absorver água aumenta consideravelmente devido à modificação da estrutura do amido, o que o torna mais solúvel em água fria. ASCHERI *et al.* [4] mostraram que as isotermas de adsorção de água do arroz pré-gelatinizado por extrusão tomam a forma sigmoidal, característica de superfícies hidrofílicas.

Devido às modificações que sofrem os produtos amiláceos após o processo de extrusão, o estudo das características de adsorção é importante para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças de umidade sob determinada condição de temperatura e umidade relativa, além de definir os teores de umidade propícios ao início de atividade de agentes que irão provocar a deterioração do produto. Considerando-se que a variação dos níveis de adsorção de água liberada após a extrusão das farinhas mistas de arroz polido e de bagaço de jabuticaba dependerá das variáveis do processo de extrusão, este trabalho teve por objetivo estudar o efeito da velocidade de rotação do parafuso, da temperatura na última zona do extrusor e da formulação, nas principais características de adsorção de água e na estabilidade da farinha mista de arroz e de bagaço de jabuticaba, obtida por extrusão termoplástica.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - Matéria-prima

O bagaço de jabuticaba utilizado como matéria-prima, subproduto da indústria de licores e sucos de jabuticaba, foi fornecido pela Fazenda Jabuticabal, localizada no município de Nova Fátima (GO). Aproximadamente 170 kg de bagaço foram coletados em sacos de polietileno e fechados hermeticamente para minimizar perdas de umidade até sua posterior desidratação e moagem. O bagaço foi coletado logo após o esgotamento total do suco fermentado por meio de prensagem, ao final do processo de fermentação do suco de jabuticaba.

O arroz (*Oryza sativa*, L.) da marca Blue-Platina foi adquirido do comércio da cidade do Rio de Janeiro, em sacos de 5 kg mantidos sob temperatura ambiente até o processo de moagem.

### 2.2 - Procedimento experimental

#### 2.2.1 - Preparação e acondicionamento das farinhas cruas

O bagaço de jabuticaba foi uniformemente distribuído em bandejas e levado à estufa com recirculação de ar forçado a temperatura de 60°C até atingir 7,07% de umidade. O bagaço desidratado foi moído em moinho de

bolas obtendo-se a farinha de bagaço de jabuticaba (FBJ). O arroz com umidade inicial de 12,01% foi moído em moinho granulador de facas e martelos (TREU, Rio de Janeiro) provido de peneira com abertura de 1 mm obtendo-se a farinha de arroz polido (FAP).

As farinhas cruas foram acondicionadas manualmente em sacos plásticos de polietileno sob umidade de 16% de acordo com a quantidade de massa úmida das farinhas pré-estabelecidas no delineamento experimental (Item 2.3), obtendo-se desta maneira, as farinhas mistas. O teor de umidade inicial das farinhas mistas dos ensaios 1 a 4 (3,15%), 5 a 8 (12,32%), 9 a 17 (12,80%), 8 (13,40%) e 19 (12,32%) foi determinado segundo a metodologia descrita pela ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AACC) 44-16 A [8] em estufa a 105°C até peso constante. A quantidade de água que foi adicionada às misturas foi calculada pela *Equação 1*:

$$Q_a = \frac{(U_f - U_i)}{100 - U_i} \cdot m_a \quad (1)$$

Onde  $Q_a$  é a quantidade de água a ser adicionada, em mililitros,  $U_f$  é a umidade final da amostra estabelecida a 16%,  $U_i$  é a umidade inicial da amostra e  $m_a$  é a massa da amostra, em gramas.

Após homogeneização, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas sob refrigeração por 24 h, para obter-se distribuição e absorção mais uniforme da água.

### 2.2.2 - Extrusão

As farinhas mistas foram extrusadas em um extrusor da marca BRABENDER (Duisburg, Alemanha), modelo 20DN, de parafuso único, equipado com matriz circular de 3 mm, taxa de compressão do parafuso único de 4:1 e taxa de alimentação de 5 kg/h. As temperaturas das zonas 1 e 2 foram mantidas constantes, a 50 e 100°C, respectivamente. A velocidade do parafuso e a temperatura variaram de acordo com o delineamento experimental da *Tabela 1*.

Quando o equilíbrio do processo monitorado pela visualização da variação do torque pelo equipamento foi atingido, o material extrusado expandido foi cortado manualmente em tamanho aproximado de 30 cm de comprimento. O material foi seco em estufa com circulação de ar a 75°C até que a umidade final atingisse 3 a 5%. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho de disco (PERTEM, Suécia) e de rolos (BRABENDER, Duisburg, Alemanha) obtendo-se assim as farinhas mistas extrusadas (FME). Após moagem, as FME foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente etiquetadas e armazenadas sob temperatura ambiente.

## 2.3 - Planejamento experimental

Para o estudo do efeito da velocidade do parafuso (R), da temperatura (T) e do teor de farinha de bagaço de

jabuticaba (FBJ) na formulação sobre a estabilidade das farinhas mistas extrusadas, usou-se um delineamento fatorial 2<sup>3</sup>. As variáveis foram estabelecidas com dois níveis codificados -1, +1 segundo BARROS-NETO *et al.* [9]. Na *Tabela 1*, são mostrados os valores codificados e reais do delineamento experimental estabelecido.

**TABELA 1** – Variáveis independentes com diferentes níveis estudados durante a extrusão das farinhas mistas de arroz polido e bagaço de jabuticaba e matriz dos ensaios para o planejamento fatorial 2<sup>3</sup> nas unidades reais e codificadas

Variável	Nível	
	-1	+1
$X_1 = R$ (rpm)	100	200
$X_2 = T$ (°C)	120	180
$X_3 = FBJ$ (%)	15	25

$X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  – variáveis codificadas. R – velocidade de rotação do parafuso; T – temperatura da terceira zona de aquecimento do extrusor; FBJ – porcentagem de farinha de bagaço de jabuticaba

## 2.4 - Métodos analíticos

### 2.4.1 - Distribuição do tamanho de partícula e composição centesimal

A análise da distribuição do tamanho das partículas das FBJ, FAP e FME foi realizada na unidade de dispersão líquida do equipamento Laser Particle Sizer Analysette 22 (Fritsch, Idar-Oberstein, Alemanha), o qual utiliza o princípio da difração a laser, produzindo laser hélio-neon no comprimento de onda de 632 nm. As frações granulométricas foram adicionadas lentamente usando álcool isopropílico como agente dispersor, sob agitação constante, até que 7% de obscuridade do feixe de laser fosse alcançada para início da leitura.

As análises de composição centesimal (umidade, extrato etéreo, cinzas, proteínas e fibra bruta) das FBJ e FAP foram realizadas em duplicata, segundo as normas elaboradas pela AOAC [8] e AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS [3], nos laboratórios de análises física e química da Embrapa Agroindústria de Alimentos – RJ.

Os carboidratos totais, ou fração nifext (fração livre de nitrogênio), foram determinados pela diferença entre a massa seca total (100%) e a soma das porcentagens determinadas de umidade, extrato etéreo, cinzas, proteínas e fibra bruta.

### 2.4.2 - Determinação das isotermas de adsorção

As curvas de isotermas de adsorção de água das FBJ, FAP e FME em função dos parâmetros de extrusão referidos na *Tabela 1* foram determinadas utilizando-se o método gravimétrico estático de acordo com o Projeto COST 90 com modificações [4]. Foram utilizadas soluções saturadas de LiCl, MgCl<sub>2</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KI, NaCl, KCl e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. As soluções saturadas foram colocadas em dessecadores os quais geraram ambientes com diferentes valores de atividade de água ( $A_w$ ), os quais variaram de 0,113 a 0,973 para a temperatura de 25°C.

A determinação da massa seca ( $m_i$ ) foi realizada colocando-se aproximadamente 0,5 g da amostra em pesa-filtro de 25 mL, previamente tarado e transferido para a estufa a 75°C por aproximadamente 4 h, segundo o método da AACC [2]. Em seguida, os pesa-filtros foram colocados, sobre suporte, nos dessecadores contendo as soluções saturadas. O processo foi acompanhado pesando-se as amostras a cada 24 h até que o equilíbrio dinâmico fosse atingido entre a umidade relativa do ambiente do interior do recipiente e a umidade da amostra, ou seja, até não haver mais variação de massa ( $m_e$ ), detectada através de pesagens na balança analítica. Os valores de umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) em gramas de água por 100 g de matéria seca (g água/100 m.s.) foram calculados através da Equação 2:

$$X_e = \frac{m_e - m_i}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

Na interpretação da estabilidade das farinhas extrusadas, foi definida a umidade de equilíbrio na forma de monocamada ( $X_m$ ) como o conteúdo de água correspondente à saturação de todos os sítios primários de adsorção por uma molécula de água quantificada em gramas de água por gramas de amostra seca (g ág/g ms).

## 2.5 - Análise estatística dos resultados

Uma análise de regressão não-linear foi aplicada aos valores experimentais das isotermas de adsorção utilizando a equação de GAB cujos coeficientes foram solucionados com a ajuda do microcalculador Origin 5.0 da Microcal software, Inc. (1991-1997) (Equação 3):

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot A_w}{(1 - k \cdot A_w) \cdot (1 - k \cdot A_w + C \cdot k \cdot A_w)} \quad (3)$$

Onde, C é a constante de Guggenheim relacionada às propriedades da monocamada e k é o fator que corresponde às propriedades da multicamada.

Uma equação de primeira ordem foi usada para estabelecer um modelo matemático preditivo da variável resposta  $X_m$ , cuja equação geral é [9] (Equação 4):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + \xi \quad (4)$$

Onde Y é a função resposta genérica, X é a variável codificada, obtida a partir da variável original, b representam os coeficientes estimados pelos métodos dos mínimos quadrados e  $\xi$  é o erro experimental.

Os gráficos de superfície de resposta, de contorno, de pareto e dos coeficientes do modelo matemático foram obtidos com o programa Statistica for Windows V. 5.1 da StatSoft (1984-1996) para este fim. Os tratamentos descri-

tos na Tabela 1 foram comparados por meio de análise de variância (ANOVA) e aplicação de teste F e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade [9].

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 - Distribuição do tamanho de partícula e composição centesimal

Assim como a temperatura [1, 21], o tamanho de partícula [37] e a composição centesimal de materiais biológicos [35] afetam as isotermas de adsorção de água.

Nas Tabelas 2 e 3, estão os resultados da determinação da composição centesimal e da distribuição do tamanho de partícula, respectivamente, das FBJ e FAP.

**TABELA 2** – Composição centesimal das FBJ e FAP em g/100 g de amostra

Parâmetro	FBJ*	FAP*
Umidade	7,08±0,06	12,01±0,09
Matéria seca	92,93±0,06	87,99±0,09
Cinzas	3,49±0,05	0,78±0,09
Extrato etéreo	1,14±0,11	0,62±0,08
Proteína	11,00±0,09	9,81±0,07
Fibra bruta	67,38±1,48	0,74±0,05
Carboidratos	9,93±1,40	76,04±3,45

\* Média de duas repetições

A FBJ possui baixo teor de lipídios (quantificado em extrato etéreo) e com considerável conteúdo de proteínas devido à adição e proliferação de leveduras durante a fermentação do mosto de jabuticaba. Segundo ASQUIERI *et al.* [6], neste processo, adicionam-se aproximadamente 10 g de levedura de cerveja/L de mosto preparado, o que explica o elevado conteúdo de proteínas no bagaço fermentado.

Os teores de lipídios, de proteínas, de cinzas e de fibra bruta da FBJ superam os da FAP.

Em relação à FAP, a FBJ contém aproximadamente 91 vezes o conteúdo de fibra bruta, o que a caracteriza como um material altamente fibroso; cerca de 78% a mais de minerais fixos (cinzas) e, aproximadamente, 8 vezes menos carboidratos.

Os valores da composição centesimal da FAP estão de acordo com os obtidos por ASCHERI *et al.* [4] e por DING *et al.* [18] que encontraram valores de lipídios 0,3 e 1,2%, de proteína 7,5 e 7,6%, de fibra 1,6 e 0,7% e de carboidratos totais 74,4 e 77,4%, respectivamente.

Tendo em conta as proporções de FAP/FBJ (Tabela 1) que originaram as diferentes farinhas pré-gelatinizadas, elas podem ser consideradas como farinhas amiláceas com alto teor de fibra (estimado matematicamente em 10 a 16% de fibra, aproximadamente) uma vez que a porcentagem de farinha de arroz polido variou de 75 a 85%.

A Tabela 3 mostra que a FBJ apresentou cerca de 87% de partículas menores que 600  $\mu\text{m}$  em massa, com quantidade significativa de “pó”, ou seja, partículas menores que 500  $\mu\text{m}$  (80% das partículas), enquanto que a FAP apresentou alto porcentual de partículas grossas cujo perfil granulométrico descreve dois grandes grupos, um com tamanho de partículas próximo a 500  $\mu\text{m}$  (representando cerca de 42% das partículas) e outro com tamanho de partículas acima de 500  $\mu\text{m}$  (representando mais de 58%). As FME apresentaram aproximadamente 90% de tamanho de partículas menores de 500  $\mu\text{m}$  e mais de 50% menores de 230  $\mu\text{m}$ .

De acordo com a Tabela 3, as diferentes farinhas estudadas foram consideradas como partículas esféricas e, com o intuito de minimizar o possível efeito que poderia causar as dimensões destas partículas sobre as isotermas de adsorção de água, selecionaram-se partículas de tamanho entre 106 e 210  $\mu\text{m}$ .

### 3.2 - Características de adsorção de água

Os dados experimentais das isotermas de FBJ, FAP e FME, a temperatura de 25°C estão na Tabela 4 e representados graficamente na Figura 1.

As isotermas obtidas são semelhantes às do trabalho de ASCHERI *et al.* [4] para arroz pré-gelatinizado por extrusão, isto é, seguiram uma tendência ascendente com incremento do valor de  $A_w$ , descrevendo uma curva sigmoidal com três regiões bem diferenciadas (regiões de baixa umidade, de umidade intermediária e de alta umidade), típica de superfícies hidrofílicas correspondentes a isotermas do tipo II de acordo com a classificação da IUPAQ [27].

Na Tabela 5, estão os pontos de inflexão que separam as regiões das isotermas. Estes pontos foram calculados através da primeira e segunda derivada da equação de GAB em função a  $X_e$ , respectivamente. A região de baixa

**TABELA 3** – Distribuição do tamanho de partícula das FBJ, FAP e das FM\*

FBJ			FAP			FM		
TP ( $\mu\text{m}$ )	F (%)	Ac. (%)	TP ( $\mu\text{m}$ )	F (%)	Ac. (%)	TP ( $\mu\text{m}$ )	F (%)	Ac. (%)
≤81,3	0,8±0,7	17,5	≤75,7	0,4±0,0	2,2	75,7	2,8±0,2	2,8
93,9	1,6±0,3	19,1	88,9	0,5±0,0	2,7	88,9	2,0±0,5	4,7
108,5	5,2±6,2	24,3	104,4	0,6±0,0	3,3	104,4	3,6±1,0	8,3
125,3	10,6±15,3	34,9	122,5	0,7±0,1	4,0	122,5	5,9±1,6	14,2
144,7	12,0±17,2	46,9	143,8	0,9±0,1	4,9	143,8	9,3±2,2	23,6
167,1	6,8±7,8	53,7	168,9	1,2±0,1	6,1	168,9	12,5±2,5	36,1
193,0	2,2±0,7	55,9	198,3	1,7±0,2	7,7	198,3	13,6±2,0	49,7
223,0	2,0±1,8	57,9	232,8	2,6±0,3	10,3	232,8	12,5±1,0	62,2
257,5	2,6±2,3	60,5	273,3	4,1±0,6	14,4	273,3	10,2±1,2	72,5
297,5	3,4±3,0	63,9	320,8	6,6±1,1	21,0	320,8	8,1±1,9	80,6
343,6	4,5±3,9	68,3	376,6	9,5±1,3	30,5	376,6	6,1±2,0	86,7
396,8	5,6±4,9	73,9	442,2	11,8±1,1	42,3	442,2	4,4±1,8	91,0
458,3	6,5±5,7	80,4	519,1	13,2±0,7	55,5	519,1	3,2±1,6	94,3
529,4	6,6±5,9	86,9	609,4	13,0±0,8	68,5	609,4	2,1±1,4	96,4
611,5	5,7±5,2	92,6	715,5	10,5±1,0	79,0	715,5	1,5±1,1	97,9
706,3	4,1±3,8	96,7	840,0	7,2±1,1	86,1	840,0	0,7±0,6	98,6
815,7	2,5±2,2	99,2	986,2	6,9±1,1	93,1	986,2	0,7±0,6	99,3
942,2	0,8±0,7	100,0	1157,8	6,9±1,1	100,0	1157,8	0,7±0,6	100,0

\*Média de 5 repetições

TP ( $\mu\text{m}$ ) tamanho de partícula; F (%) frequência; Ac. (%) frequência acumulada

**TABELA 4** – Umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) na temperatura de 25°C e vários valores de atividade de água ( $A_w$ ) das farinhas de bagaço de jabuticaba (FBJ), arroz polido (FAP) e das FME ( $T_1$  a  $T_8$ )\*

Ensaio	$X_e^{**}$						
	$A_w=0,113$	$A_w=0,328$	$A_w=0,546$	$A_w=0,689$	$A_w=0,753$	$A_w=0,843$	$A_w=0,973$
E <sub>1</sub>	2,81cde	6,53c	9,77b	12,91cd	14,16c	20,63a	44,65d
E <sub>2</sub>	2,98bc	6,95b	9,50b	12,80d	14,22c	18,22e	49,02a
E <sub>3</sub>	2,18f	5,89ef	9,50b	13,56b	15,15ab	19,76c	45,92c
E <sub>4</sub>	2,49cde	4,37h	8,03e	10,74f	12,25e	17,92e	45,94bc
E <sub>5</sub>	2,38ef	6,36cd	9,69b	13,02c	14,58bc	19,94b	46,74b
E <sub>6</sub>	1,57g	4,52h	8,48d	11,70 e	13,97cd	18,73d	46,07bc
E <sub>7</sub>	2,95bcd	6,07de	9,59b	12,90cd	15,58a	20,52a	44,51d
E <sub>8</sub>	0,77h	5,15g	8,57d	10,24f	13,19d	16,00f	42,76e
FAP	4,16a	8,92a	10,81a	14,18a	15,60a	19,79bc	37,40f
FBJ	3,19b	5,61f	8,96c	11,47e	14,12c	18,86d	48,00a

\*Valores médios de duas repetições

\*\*Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey

Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 26(2): 325-335, abr.-jun. 2006

umidade encontra-se delimitada entre  $0 \leq A_w \leq 0,27$ . A região de umidade intermediária localiza-se entre o primeiro e o segundo ponto de inflexão ( $A_w \leq 0,79$ ) das isotermas. A região de alta umidade está compreendida entre o segundo ponto de inflexão e  $A_w = 1$ .

A importância da localização destas regiões relaciona-se à disponibilidade de água presente nelas. Na região de alta umidade, as farinhas necessitam de cuidados máximos durante a sua manipulação ou armazenamento, pois, em  $A_w$  igual a 0,973 evidenciou-se crescimento de fungos após oito dias de experiência, principalmente nos ensaios com menores proporções de FBJ e com a FAP sozinha.

Na região de umidade intermediária, onde se observam pequenas variações em  $X_m$  com o aumento da  $A_w$  (Figura 1), MARTINS [30] mostrou que a participação das moléculas de água nas reações químicas e crescimento de microorganismos são muito limitados; portanto, pode-se supor que nessa região as FAP, FBJ e as FME podem ser consideradas estáveis, do ponto de vista microbiológico. Maior estabilidade pode ser observada na FBJ e nos ensaios com maior proporção de FBJ de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. Essas diferenças são melhores vistas na Figura 1.

Na região de baixa umidade, encontra-se a umidade de equilíbrio da monocamada.  $X_m$  é o teor de umidade de equilíbrio onde o material amiláceo ainda poderá ser mais estável [3, 4]. Quanto menor o  $X_m$  maior será a estabilidade do produto.

### 3.3 - Efeito dos parâmetros de extrusão na estabilidade das farinhas mistas extrusadas

A análise de variância e o teste de Tukey foram aplicados aos valores de  $X_m$  da Tabela 5. A ANOVA (Tabela 6) mostrou diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ); porém, pelo teste de Tukey (Tabela 5), apenas os valores médios de  $X_m$ , obtidos com R e FBJ constantes e T variando de 120 para 180°C e com T e FBJ constantes e R variando de 100 para 200 rpm, não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 7 mostra a ANOVA aplicada ao modelo matemático da Equação 4 usando a metodologia de superfície de resposta. Verifica-se que a variação devida à regressão foi significativa estatisticamente ao nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ), apresentando um valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9812 explicando 98,12% da variação total da variável resposta  $X_m$  em torno da média e apenas 1,88% foram atribuídos a resíduos. Dos coeficientes da regressão, apenas a variável associada  $R \times T$  não foi significativa ( $p < 0,05$ ).

Os valores dos efeitos da Tabela 7 também estão representados em forma de gráfico na Figura 2, no qual se observa que as variáveis FBJ e  $T \times FBJ$  apresentaram efeitos negativos com maiores magnitudes, seguidas pela variável T de efeito negativo e pelas variáveis R e  $R \times FBJ$ , de efeito positivo.

Pelas considerações feitas através da análise de variância e estimativa dos efeitos, diagrama de pareto e fazendo uso dos

**TABELA 5** – Variáveis reais dos parâmetros do processo de extrusão, valores dos coeficientes da equação de GAB e valores de umidade de equilíbrio e de atividade de água dos pontos de inflexão da curva obtidos das isotermas de adsorção a 25°C das FBJ, FAP e FME (ensaios 1 a 8)\*

Ensaio	Variáveis reais		Coeficientes da Eq. de GAB				PPI		SPI	
	R (rpm)	T (°C)	FBJ (%)	$X_m^{**}$ (g ág/g ms)	C	K	$X_0$	$A_w$	$X_0$	$A_w$
E <sub>1</sub>	100	120	15	4,78cd	14,76	0,92	5,22	0,26	10,36	0,61
E <sub>2</sub>	100	120	25	4,18f	37,86	0,94	4,82	0,22	13,45	0,74
E <sub>3</sub>	100	180	15	4,85bc	9,70	0,92	4,94	0,27	8,45	0,52
E <sub>4</sub>	100	180	25	3,78h	13,07	0,94	4,06	0,26	7,71	0,57
E <sub>5</sub>	200	120	15	4,67d	13,08	0,93	5,01	0,27	9,54	0,58
E <sub>6</sub>	200	120	25	4,39e	6,37	0,93	3,89	0,26	5,74	0,42
E <sub>7</sub>	200	180	15	4,96b	12,19	0,91	5,27	0,27	9,77	0,58
E <sub>8</sub>	200	180	25	3,83h	8,70	0,94	3,79	0,27	6,24	0,49
FAP	-	-	-	5,54a	36,78	0,88	6,38	0,24	17,60	0,79
FBJ	-	-	-	4,11g	26,22	0,94	4,68	0,24	11,41	0,69

\*Valores médios de duas repetições

\*\*Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey

PPI e SPI – primeiro ponto de inflexão e segundo ponto de inflexão, respectivamente

**TABELA 6** – Análise de variância fator único, aplicada aos valores de umidade de equilíbrio na monocamada ( $X_m$ ) das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e bagaço de jabuticaba obtidas por extrusão

F. de V.	S. Q.	G.L.	M. Q.	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>
Ensaios	6,744	9	0,749	24,390	3,020*
Erro experimental	0,307	10	0,031		
Total	7,051	19			

\*Significativo ao nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ )

S.Q. = Soma dos quadrados; F. de V. Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; M.Q. = Média quadrática; F<sub>c</sub> = Teste F calculado; F<sub>t</sub> = F tabelado

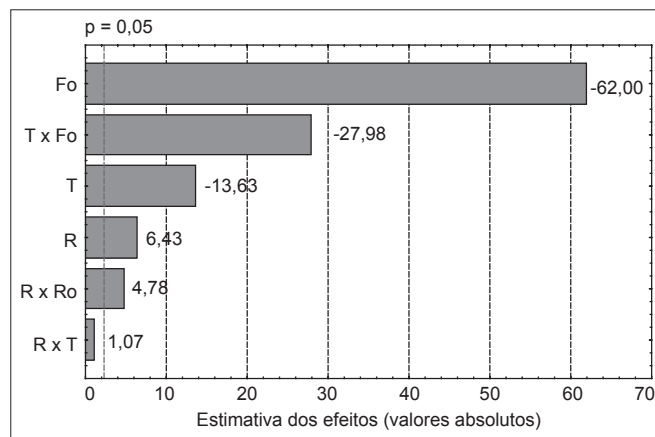
**TABELA 7** – ANOVA da regressão linear, efeitos, coeficientes da regressão, erro padrão e probabilidade de erros associada, aplicados aos valores de  $X_m$  das FME

F. de V.	S. Q.	G.L.	M. Q.	F <sub>c</sub>	Efeitos	Err.	p (<0,05)
Regressão	2,869	6	0,478	78,403	n.e.	n.e.	0,000 *
Intercepto	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	4,428	0,006	0,000 *
R (rpm)	0,024	1	0,024	41,379	0,078	0,012	0,000 *
T (°C)	0,109	1	0,109	185,726	-0,165	0,012	0,000 *
FBJ (%)	2,261	1	2,261	3843,591	-0,752	0,012	0,000 *
R x T	0,001	1	0,001	1,149	0,013	0,012	0,315 n.s.
R x FBJ	0,013	1	0,013	22,879	0,058	0,012	0,001 *
T x FBJ	0,460	1	0,460	782,763	-0,339	0,012	0,000 *
Resíduos	0,055	9	0,006	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
<b>Total</b>	<b>2,923</b>	<b>15</b>	<b>n.e.</b>	<b>n.e.</b>	<b>n.e.</b>	<b>n.e.</b>	<b>n.e.</b>

$$X_m = 4,428 + 0,039.R - 0,083.T - 0,376.FBJ + 0,007.R.T + 0,029.R.FBJ - 0,017.T.FBJ$$

\*Significativo ao nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ )

n.s. – Não significativo ( $p > 0,05$ ); F. de V. – Fonte de variação; S.Q. – Soma dos quadrados; Err. – Erro padrão; G.L. – Graus de liberdade; p – probabilidade de erros associada; M.Q. – Média quadrática; F<sub>c</sub> – Teste F calculado; n.e. – Não encontrado

**FIGURA 2** – Estimativa dos efeitos lineares das variáveis, R, T e Fo no valor de  $X_m$  (g água/g ms) das farinhas pré-gelatinizadas

coeficientes observados da equação da Tabela 7 e eliminando o coeficiente não significativo, a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (Equação 4) pode ser reescrita como (Equação 5):

$$X_m = 4,428 + 0,039.R - 0,083.T - 0,376.FBJ + 0,029.R.FBJ - 0,017.T.FBJ \quad (5)$$

Nas Figuras 3a e 3c, verifica-se o efeito da variável FBJ na estabilidade das farinhas pré-gelatinizadas. Maiores valores de  $X_m$  foram observados em concentrações menores de FBJ. O E<sub>7</sub> apresentou maior valor de  $X_m$  (4,96 g água/g ms) seguido pelos ensaios E<sub>3</sub>, E<sub>1</sub> e E<sub>5</sub>, com valor de 4,85, 4,78 e 4,67 g água/g ms, respectivamente.

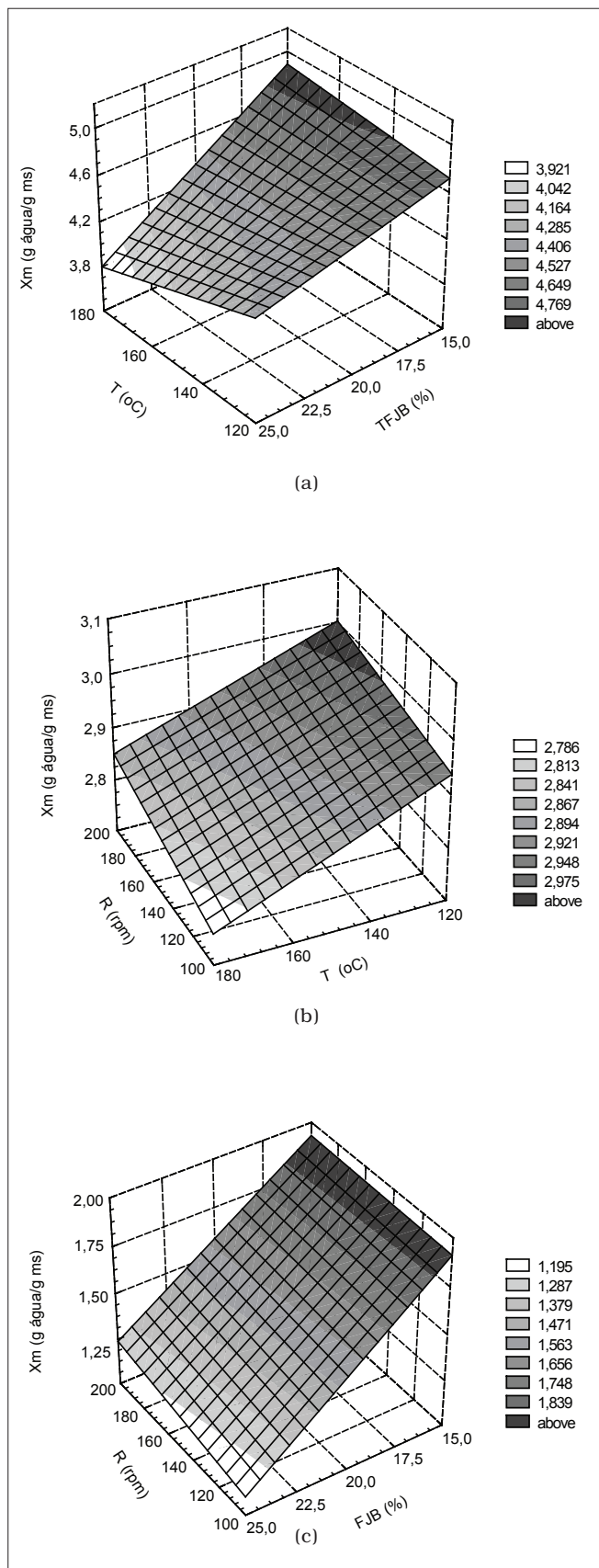
Explica-se o efeito negativo da FBJ sobre a estabilidade pelo aumento da proporção de fibra e diminuição da proporção de material amiláceo gelatinizado em virtude do incremento da proporção de FBJ (de 15 para 25%). Com a diminuição do material amiláceo gelatinizado diminuem os sítios de adsorção de água. Este efeito era esperado uma vez que as fibras contidas na FBJ não se degradam

durante o processo de extrusão [17, 23, 38] pelo que não fornecem novos sítios de adsorção de água. Pelo contrário, suspeita-se que as fibras plastifiquem o material extrusado, uma vez que eles apresentam uma aparência lisa após a saída do extrusor. Portanto, quanto maior a quantidade de fibras, menor a quantidade de água adsorvida e maior a estabilidade das farinhas pré-gelatinizadas.

O efeito da variável T e da variável combinada T x FBJ visto na Figura 3a e 3b e 3c, respectivamente, mostra uma tendência negativa sobre os valores de  $X_m$ , embora que na Figura 3a se observe um ligeiro aumento de  $X_m$  quando T varia de 120 para 180 fixando FBJ para 15%, porém, não significativo segundo o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) da Tabela 5. Menores valores de  $X_m$  são obtidos na temperatura de 180°C e na FBJ de 25%.

Esta tendência negativa de T e T x FBJ sugere uma interação de grupos hidrofílicos de proteínas e carboidratos conhecida como reação de Maillard [20, 22, 23]. As temperaturas elevadas e a baixa umidade utilizadas do processo de extrusão provavelmente favoreceram a produção de  $-NH_2$  terminal pela desnaturação das proteínas presentes na FBJ que, possivelmente, reagiram com os açúcares redutores ( $-OH$  livre) originados pela dextrinização do material amiláceo e propiciaram a formação de novas ligações covalentes, diminuindo a disponibilidade de sítios de adsorção de água. Assim, a estabilidade das farinhas pré-gelatinizadas aumenta com o aumento da temperatura de extrusão e da interação entre a temperatura e a proporção de fibra na formulação das farinhas mistas.

A velocidade de rotação do parafuso apenas teve seu efeito na estabilidade das farinhas pré-gelatinizadas quando aumentou de 100 para 200 rpm na temperatura de 120°C e 25% de FBJ, segundo o teste de Tukey da Tabela 5 ( $p < 0,05$ ). O valor de  $X_m$  aumentou de 4,18 para 4,39 g água/g ms, indicando a diminuição da estabilidade das farinhas com o aumento da velocidade do parafuso provavelmente pela redução do tempo de residência do material amiláceo. O fato de que este parâmetro de extrusão exerça menor efeito nesta propriedade física estudada é concordante com os obtidos na literatura para outras



**FIGURA 3** – Superfície de resposta da  $X_m$  (g água/g ms) em função de: a)  $T$  vs FBJ, b)  $T$  vs  $R$  e c)  $R$  vs FBJ

propriedades de produtos obtidos por extrusão. Em suas pesquisas, MARTIN-CABREJAS *et al.* [31] e DING *et al.* [18] observaram efeitos mínimos da velocidade do parafuso na expansão dos extrusados e na retenção de lisina, respectivamente.

#### 4 - CONCLUSÕES

- As curvas de isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz polido, de bagaço de jabuticaba e das farinhas pré-gelatinizadas obtidas nas condições do presente trabalho apresentaram estrutura sigmoidal do tipo II.
- As farinhas pré-gelatinizadas mostraram ser menos higroscópicas do que a farinha de arroz polido seguindo uma tendência decrescente quanto maior o teor de fibras em decorrência do aumento da proporção da farinha de bagaço de jabuticaba na composição das farinhas mistas.
- O efeito da velocidade de rotação do parafuso, da temperatura na última zona do extrusor e da formulação na estabilidade das farinhas pré-gelatinizadas foi significativo, verificando-se um aumento com o acréscimo no teor da farinha de bagaço de jabuticaba e com o aumento da temperatura, enquanto que houve um decréscimo com a velocidade de rotação, porém, pouco significativo.
- Valores elevados da variável associada de temperatura e teor de farinha de bagaço de jabuticaba contribuíram para o aumento da estabilidade das farinhas pré-gelatinizadas.

#### 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 2: Thermodynamic characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 62, n. 2, p. 135-142, 2004.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**, v. 2, 8th ed, St. Paul: AACCC, 1983
- ASCHERI, D. P. R. Estudo das características de adsorção de água e da estabilidade das microcápsulas de óleo essencial de laranja na seleção de material de parede. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 367-373, 2000.
- ASCHERI, D. P. R.; NASCIMENTO, G. C.; ASCHERI, J. L. R. Características de adsorción de agua de la harina de arroz soluble a varias temperaturas. **Alimentaria**, v. 40, n. 349, p. 111-119, 2003.
- ASCHERI, J. L. R.; MENDONÇA, X. M. F. D.; ASCHERI, D. P. R. Efecto de la adición de aislado proteico de soya en las propiedades físico-químicas de pellets de harina de arroz. **Alimentaria**, v. 38, n. 319, p. 53 - 61, 2001.
- ASQUIERI, E. R.; CANDIDO, M. A.; DAMIANI, C.; ASSIS, E. M. Fabricación de vino blanco y tinto de jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba Berg*) utilizando la pulpa y la cáscara respectivamente. **Alimentaria**, n. 355, p. 97-109, 2004.

- [7] ASQUIERI, E. R.; DAMIANI, C.; CANDIDO, M. A.; ASSIS, E. M. V. *Vino de jabuticaba (Myrciaria cauliflora Berg): estudio de las características físico-químicas y sensoriales de los vinos tintos seco y dulce, fabricados con la fruta integral. Alimentaria*, n. 355, p. 111-121, 2004.
- [8] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists**. 17th ed. Washington, 2000.
- [9] BARROS, N. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Ed. Unicamp, 1996. 299 p.
- [10] BOONYASIRIKOOL, P.; CHARUNUCH, C. Development of corn grit-broken rice based snack food by extrusion cooking. **J. Nat. Sci.**, v. 34, n. 2, p. 279-288, 2000a.
- [11] BOONYASIRIKOOL, P.; CHARUNUCH, C. Development of nutritious soy fortified snack by extrusion cooking. **Kasetsart. J. Nat. Sci.**, v. 34, n. 3, p. 355-365, 2000b.
- [12] BORTONE, E. Interacción de ingredientes y procesos en la producción de alimentos hidroestables para camarones. In: CRUZ-SUÁREZ, L. E.; RICQUE-MARIE, D.; TAPIA-SALAZAR, M.; GAXIOLA-CORTÉS, M. G.; SIMOES, N. *Avances en Nutrición Acuicola VI. Memorias Del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México. p. 407-437.
- [13] BOUVIER, J. M. Breakfast cereals. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2001. c. 7, p. 135-160.
- [14] CARVALHO, R. V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização texturométrica e microestrutural**. Minas Gerais, 2000. 88p. Tese (Mestrado) – Curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras.
- [15] CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. R. A.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3g) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciências Agrotécnicas**, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.
- [16] CHEN, J.; SERAFIN, F. L.; PANDYA, R. N.; DAUN, H. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 1, p. 84-89, 1991.
- [17] COSTA, S. A. J. **Efeito das características granulométricas do Grits na produção de snacks de milho solúvel por extrusão**. Rio de Janeiro, 2004. 95p. Tese (Mestrado) – Instituto de Tecnologia. Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- [18] DING, Q. B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, n. 66, p. 283-289, 2005.
- [19] DONADIO, L. C. **Jabuticaba [Myrciaria jaboticaba (vell.) Berg]**. Serie Frutas nativas. Jaboticabal: Funep, 2000. 55p.
- [20] FERNANDES, M. S.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, S. A. J. Produtos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1495-1501, 2002.
- [21] FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.
- [22] FERREIRA, T. A. P. C. **Avaliação nutricional do amaranto (Amaranthus caudatus L.) extrusado em diferentes condições de umidade**. São Paulo, 1999. 157p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo.
- [23] GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2001. c. 1, p. 1-2.
- [24] GUY, R. Raw materials for extrusion cooking. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2001a. c. 2, p. 5-28.
- [25] GUY, R. Snack foods. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2001b. c. 8, p. 161-181.
- [26] HWANG, J. K. Production of functional carbohydrates by the extrusion reactor. **Food Science and Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 455-459, 2001.
- [27] INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY – IUPAC. Reporting physisorption data for gas/solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.
- [28] LAUNAY, B.; KONE, T. Twin-screw extrusion-cooking of corn starch: flour properties of starch pastes. In: ZEUTHEN, P.; CHEFTEL, J. C.; ERICKSSON, C.; JUL, M.; LEE, E. Y.; RYU, G. H.; LIM, S. T. Effects of processing parameters on physical properties on corn starch extrudates expanded using supercritical CO<sub>2</sub> injection. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 1, p. 63-69, 1999.
- [29] MAGALHÃES, M. M.; BARROS, R. S.; FINGER, F. L. Changes in structural carbohydrates in developing fruit of *Myrciaria jaboticaba*. **Scientia Horticulturae**, v. 66, p. 17-22, 1996.
- [30] MARTIN, G. L''eau dans les céréales". In: GODON, B.; WILLIM, C. **Les industries de premier transformation des céréales**. Paris: Technique et Documentation Lavoisier, 1991. p.155-156.
- [31] MARTIN-CABREJAS, M. A.; JAIME, L.; KARAHJA, C.; DOWNIE, A. J.; PARKER, M. L.; LOPEZ-ANDREU, F. J.; MAINA, G.; ESTEBAN, R. M.; SMITH, A. C.; WALDRON, K. W. Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by extrusion cooking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 1174-1182, 1999.
- [32] MÉRCIER, C. Nutritional appraisal of extruded foods. **Inst. J. Food Sci. Nutr.**, v. 44, p. 545-553, 1993.
- [33] MÉRCIER, C.; CHARBONNIERE, R.; GREBAUT, J.; DE LA GUERIVIERE, J. F. Formation of amylose-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch. **Cereal Chemistry**, v. 57, n. 1, p. 4-9, 1980.
- [34] MORTON, J. Jaboticabas. in: MORTON, J. F. **Fruits of warm climates**. Miami: Creative Resources Systems, Inc. 1987. p. 371-374
- [35] PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isoterms de sorção e modelagem matemática para pêra bartlett (*pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

- [36] REYES-MORENO, C.; MILÁN-CARRILLO, J.; ROUZAUD-SANDEZ, O.; GARZÓN-TIZNADO, J. A.; MORA-ESCOBEDO, R. Descascarillado/ suavización/ extrusión (dse): alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) **Agrociencia**, v.36, n. 2, p. 181-189, 2002.
- [37] ROQUE, F. J. **Influencia del tamaño de partícula en la actividad de agua de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*), maca (*Lepidium meyenii walp*) y olluco (*Ullucus tuberosas*)**. Arequipa, 2001. 125p. Tesis (Maestria) –Facultad de Ingenieria de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín.
- [38] WESTENBROEK, A. P. H. **Extrusion pulping of natural fibres, determination, implementation and**

**verification of constitutive equations required for modelling**. Wageningen, 2000. 150 p. Tese (Doutorado) – Wageningen University and Research Centre, The Netherlands.

## 6 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IMA/UFRJ), ao Centro de Tecnologia de Alimentos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro (CTAA/Embrapa – RJ) pelo suporte técnico e à Fazenda Jabuticabal do Município de Nova Fátima, Estado de Goiás, pela matéria-prima fornecida.