



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

ARYANE RIBEIRO OLIVEIRA

**QUALIDADE DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS,
CEREAIS MATINAIS E SALGADINHOS OBTIDOS POR
EXTRUSÃO A PARTIR DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ
E POLPA DE AÇAÍ LIOFILIZADA OU CÚRCUMA EM PÓ**

GOIÂNIA

2016

TERMO DE CIÊNCIA E AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG), a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: **Aryane Ribeiro Oliveira**

Título do trabalho: **Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas, cereais matinais e salgadinhos obtidos por extrusão a partir de grãos quebrados de arroz e polpa de açaí liofilizada ou cúrcuma em pó**

3. Informação de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ Sim ☐ Não¹

Havendo concordância com disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Data: 21/08/2017

Assinatura da autora²

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente
- Submissão de artigo em revista científica
- Publicação como capítulo de livro
- Publicação da dissertação/tese em livro

² A assinatura deve ser escaneada.

ARYANE RIBEIRO OLIVEIRA

**QUALIDADE DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS, CEREAIS MATINAIS E
SALGADINHOS OBTIDOS POR EXTRUSÃO A PARTIR DE GRÃOS QUEBRADOS
DE ARROZ E POLPA DE AÇAÍ LIOFILIZADA OU CÚRCUMA EM PÓ**

Dissertação apresentado à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como exigência para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior

Co-Orientador: Prof. Dr. Marcio Caliari

GOIÂNIA

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG

Ribeiro Oliveira, Aryane

Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas, cereais matinais e salgadinhos obtidos por extrusão a partir de grãos quebrados de arroz e polpa de açaí liofilizada ou cúrcuma em pó [manuscrito] / Aryane Ribeiro Oliveira. - 2016.

CCXXXVI, 236 f.: Il

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Junior; co-orientador Dr. Márcio Caliari.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2016.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui gráfico, lista de figuras, lista de tabelas.

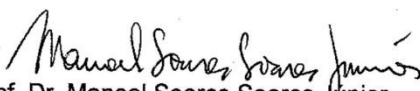
1. subproduto. 2. cereal matinal. 3. salgadinhos. 4. antioxidantes.

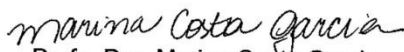
I. Soares Soares Junior, Manoel , orient. II. Título

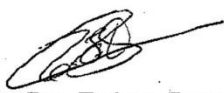


UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
MESTRADO

ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE ARYANE RIBEIRO OLIVEIRA. Aos dezoito dias do mês de julho de 2016 (19/07/2016), às 08h30min, reuniram os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior – Orientador – PPGCTA/EA/UFG, a Profa. Dra. Marina Costa Garcia EA/UFG e a Profa. Dra. Tatiane Ferreira de Oliveira –EA/UFG, para sob a presidência do primeiro, e em sessão pública realizada na sala 18 – prédio Central-EA/UFG, proceder a avaliação da defesa de dissertação intitulada: “Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas, cereais matinais e salgadinhos obtidos por extrusão a partir de grãos quebrados de arroz e polpa de açaí liofilizada ou cúrcuma em pó”, em nível de MESTRADO, área de concentração em CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, de autoria de **ARYANE RIBEIRO OLIVEIRA**, discente do Programa de PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a autora da dissertação, que, em trinta minutos, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca fez arguição da examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa, tendo-se em vista o que consta na Resolução nº. 1010/2011 do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **Aprovada** e, para fins de expedição do diploma de MESTRE EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, na área de concentração em CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS pela Universidade Federal de Goiás, a mesma deverá proceder de acordo com as normas, nos termos do artigo 68 da resolução do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Cumpridas as formalidades de pauta, às 11h30min, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação, e para constar, lavrou-se a presente Ata, que, depois de lida e aprovada, é assinada pelos membros da Banca Examinadora em três vias de igual teor.


Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior
Presidente – PPGCTA/EA/UFG


Profa. Dra. Marina Costa Garcia
Membro - EA/UFG


Profa. Dra. Tatiane Ferreira de Oliveira
Membro – EA/UFG

Aos meus irmãos, meus pais e meu esposo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas pessoas maravilhosas que colocou ao meu lado nessa caminhada, que certamente sem elas não teria conseguido.

Aos meus pais, José Lopes e Bárbara Ribeiro, por sempre lutarem pelos meus estudos me fortalecendo e fazendo-me acreditar que eu sou capaz mesmo diante das dificuldades. Aos meus irmãos, Diego e Alex, pelo total apoio, amor, amizade e exemplo de superação. Ao meu esposo, Tarcisio Dias, por ser tão importante na minha vida. Devido fazer dos meus sonhos os nossos sonhos este trabalho pôde ser concretizado.

Ao Professor Dr. Manoel Soares, pela exemplar orientação, atenção, amizade e carinho despendido em todos esses anos. Os conhecimentos a mim repassados serão um tesouro que guardarei com muita gratidão. Obrigada por tudo que fez por mim. Tem a minha eterna admiração.

Ao Professor Dr. Márcio Caliar, pela força de todos os dias, incentivo e pelas brincadeiras que faziam tudo se tornar mais leve e fácil. Obrigada professor, por todo carinho dedicado a mim, confiança e preocupação. É um exemplo a ser seguido.

A minha grande amiga Alline Emannuele, pela irmandade, pela ajuda incondicional. Sua força foi fundamental para que este trabalho fosse concretizado, sem você tudo teria sido bem mais difícil e triste. Obrigada por dividir comigo momentos bons e ruins e me ensinar retirar, mesmo dos momentos mais difíceis, um aprendizado e boas risadas. Agradeço ainda aos seus pais Tia Vilma e Tio Zé Humberto que me acolheram sempre com muito carinho.

A Marina Costa pela ajuda e colaboração de todos esses anos, pela amizade, pelo carinho e pela dedicação ao meu trabalho. É uma pessoa a qual tenho muita admiração. Sempre estará nas minhas melhores lembranças. Muito obrigada por tudo.

A Keyla Ribeiro, pelo carinho, pela amizade, pelos ensinamentos repassados e pela ajuda incondicional de todos esses anos. A você tenho uma enorme gratidão.

A turma do mestrado 2014-1 de Ciência e Tecnologia de Alimentos pelos conhecimentos compartilhados. A todos muito obrigada.

Agradeço também a Capes pelo apoio financeiro.

Obrigada a todos por participarem de mais essa etapa da minha vida, pois direta, ou indiretamente me fizeram crescer, tanto pessoalmente quanto profissionalmente.

*“A força não provém da capacidade física.
Provém de uma vontade indomável.”
(Mahatma Gandhi)*

RESUMO

Os grãos quebrados oriundos do beneficiamento do arroz (GQA), que tem como destino principal as indústrias de ração, podem também ser utilizados pelas indústrias de alimentos, visto que possuem valor nutricional semelhante ao grão inteiro. Além disso, podem ser misturados com matérias-primas não convencionais, como a polpa de açaí liofilizada (PAL) e a cúrcuma em pó (CP) para desenvolver novos produtos com características nutricionais e funcionais ainda melhores. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi produzir cereais matinais e salgadinhos extrusados a partir de diferentes níveis de substituição de GQA por PAL e CP, respectivamente, e avaliar suas características físicas, microbiológicas e aceitação sensorial. Além disso, desenvolver farinhas pré-gelatinizadas em condições brandas de extrusão com diferentes substituições de GQA por PAL, e investigar o efeito do processo de extrusão sob as propriedades físicas, químicas e funcionais da mistura. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com 5 tratamentos para cada produto. A adição de PAL influenciou significativamente ($p < 0,01$) todos os parâmetros físicos dos cereais matinais. Em relação aos atributos sensoriais não houve diferença significativa entre os atributos aroma, sabor e crocância, mas a maior aceitação em relação à aparência foi obtida nos cereais matinais com 10%, 15%, 20% de substituição de GQA por PAL, enquanto a aceitação da cor nos com 15 e 20 %. O cereal matinal escolhido com 15% de substituição de grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada apresentou valores elevados de fibra alimentar ($9,16 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$), compostos fenólicos ($124,50 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) valor energético ($383,72 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$), e antocianinas ($15,21 \text{ mg Eq de cianidina-3-glicosídeo } 100 \text{ g}^{-1}$). A substituição dos GQA por CP influenciou significativamente o índice de expansão, o volume específico, a dureza e os parâmetros instrumentais de cor, mas não interferiram sensorialmente nos atributos de aparência, cor, aroma e crocância. O *salgadinho* escolhido com 6% de substituição de grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó para cada 100 g, obteve 0,91 g de cinzas, 7,76 g de proteínas, 4,78 g de lipídeos, 5,84 g de fibra alimentar total, 86,94 g de carboidratos, 396,94 kcal, 174,75 mg compostos fenólicos totais e 6,52% de capacidade de sequestro de radicais DPPH. Quanto às farinhas pré-gelatinizadas, o processo de extrusão afetou as propriedades químicas da mistura, acarretando em uma diminuição da umidade, lipídeos, fibras, valor energético, compostos fenólicos totais e antocianinas, além da propriedade antioxidante. Os índices de absorção e solubilidade em água aumentaram após a extrusão, porém o índice de absorção de óleo não apresentou diferença significativa. A curva de DSC mostrou que a temperatura utilizada no processo foi suficiente para gelatinização do amido presente nas farinhas, não apresentando pico referente a esse parâmetro nas farinhas pré-gelatinizadas. As propriedades de pasta também foram afetadas pelo processo de extrusão obtendo farinhas pré-gelatinizadas com maiores viscosidade a frio e de pasta. Portanto, é possível incorporar polpa de açaí liofilizada e cúrcuma em pó aos grãos quebrados de arroz para produção de alimentos com alto valor nutricional, funcional e tecnológico.

Palavras-chave: subproduto, cereal matinal, salgadinhos, antioxidantes.

ABSTRACT

The by-product of rice processing, which so far has focused its use for animal feed, may be used in the preparation of food products as they have similar nutritional value to whole grain. Furthermore, they can be incorporated into other raw materials to develop new products that add nutritional value to these products. Aiming to demonstrate the quality of this by-product the purpose of this study was to produce breakfast cereals and snacks from different grain replacement levels broken rice (BR) for pulp freeze-dried açaí (PFA) and turmeric powder (TP) respectively evaluating their physical, microbiological and sensory. Moreover, developing pre-gelatinized flours extrusion under mild conditions with different substitutions lyophilized açaí the broken grains of rice and to investigate the effect of the extrusion process under physical, chemical and functional characteristics of the mixture. We used a completely randomized design with 5 treatments. The addition of PFA influenced significantly ($p < 0.01$) all physical parameters of breakfast cereals. Regarding the sensory attributes showed no significant difference between the attributes aroma, flavor and crispness, but the greater acceptance over appearance was obtained in breakfast cereals with 10 %, 15 %, 20 % replacement BR for PFA, while acceptance in color with 15 and 20%. The chosen breakfast cereal with 15 % replacement of broken rice grains per lyophilized açaí pulp showed high levels of dietary fiber ($9.16 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), phenolic compounds ($124,50 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) energy value ($383.72 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$), and anthocyanins ($15.21 \text{ mg Eq cyanidin -3- glucoside } 100 \text{ g}^{-1}$). The replacement of BR by TP significantly influenced the expansion index, specific volume, hardness and color instrumental parameters, but did not affect the sensory attributes of appearance, color, aroma and crispness. The snacks chosen 6% TP for replacement BR per 100 g, 0.91 g ash, 7.76 g of proteins, lipids 4.78 g, 5.84 g total dietary fiber, 86.94 g carbohydrate, 396.94 kcal, 174.75 mg total phenolic compounds and 6.52% sequestration capacity of DPPH radicals. The pre-gelatinized flour, the extrusion process and affect the chemical properties proximate the mixture, resulting in a decrease in humidity, lipids, fibers, energy, phenolic compounds, antioxidant properties, anthocyanins. The rates of absorption and increased water solubility obtained after extrusion, but the oil absorption index showed no significant differences. The DSC curve shows that the temperature used in the process was sufficient to gelatinization of the starch present in the flour, showing no peak relating to that parameter in the pre-gelatinized flour. Pasting properties were also affected by the extrusion process getting pre-gelatinized flours with higher viscosity and cold paste. Therefore, it is possible to incorporate PFA and TP to broken grains of rice for the production of foods with nutritional, functional and technological value.

Keywords: by-product, breakfast cereal, *snacks*, antioxidants.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.	Cromaticidade.....	45
Equação 2.	Âgulo Hue.....	45
Equação 3.	Índice de absorção de água.....	48
Equação 4.	Índice de solubilidade em água.....	48
Equação 5.	Índice de absorção de óleo.....	48
Equação 5.	Quantidade de água adicionada as misturas.....	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e índice de absorção de óleo de grãos quebrados de arroz (g de gel/g matéria seca ¹).....	58
Tabela 2.2	Composição química, pH e acidez dos grãos quebrados de arroz.....	63
Tabela 3.1	Índices de solubilidade em água (ISA), de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) da polpa de açaí liofilizada nas temperaturas de 25, 60, 70, 80 e 90°C.....	88
Tabela 3.2	Composição centesimal, compostos bioativos e atividade antioxidante de polpa de açaí liofilizada.....	94
Tabela 4.1	Mean of the experimental data of expansion index (EI), specific volume (SV), color coordinates (luminosity “L”, value “a*” and value “b*”) of the extrusions in different proportions of LAP in substitution to the BGR	113
Tabela 4.2	Models adjusted and coefficient of determination R ² for expansion index, specific volume, color coordinates (luminosity, value “a” and value “b”) and hardness of extrudates based on broken rice grains and lyophilized açaí.....	114
Tabela 4.3	Mean scores (± standard deviation) attributed by tasters for sensorial acceptance of breakfast cereal with different levels of substitution of broken rice grains (BRG) by lyophilized açaí pulp (LAP).....	118
Tabela 5.1	Composição centesimal, valor energético total (VET), compostos fenólicos totais (CFT), capacidade antioxidante (CA) e antocianinas das farinhas com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada antes e após extrusão.....	137
Tabela 5.2	Modelos ajustados, coeficiente de determinação ajustado e nível de significância para composição centesimal, valor energético total, compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante, antocianinas, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, índice de absorção de	

	óleo (IAO), Croma e ângulo Hue farinhas com diferentes níveis de substituição de GQA por PAL, antes e após extrusão.....	139
Tabela 5.3	Propriedades funcionais das farinhas em diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz (GQA) por polpa de açaí liofilizada (PAL), antes e após extrusão termoplástica (em base seca).....	142
Tabela 5.4	Parâmetros instrumentais de cor das farinhas com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz (GQA) por polpa de açaí liofilizada (PAL) antes e após extrusão termoplástica.....	144
Tabela 5.5	Propriedades térmicas e de pasta das farinhas em diferentes níveis de substituição de polpa de açaí liofilizada aos grãos quebrados de arroz antes e após extrusão termoplástica em base seca.....	148
Tabela 6.1	Índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e índice de absorção de óleo de cúrcuma em pó (g de gel g matéria seca ⁻¹).....	172
Tabela 6.2	Composição centesimal de cúrcuma em pó.....	173
Tabela 7.1	Modelos ajustado, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e nível de significância para índice de expansão, volume específico, coordenadas de cor (luminosidade, valor “a” e valor “b”) e dureza dos extrusados obtidos com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó.....	187
Tabela 7.2	Composição centesimal, valor energético, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante do salgadinho selecionado com relação de grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó de 94:6.....	195

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Micrografia de farinha de grãos quebrados de arroz em microscópio eletrônico de varredura sob aumento de (a) 5000x (b) 800x (c) 300x	51
Figura 2.2	Difratograma de Raio-X de farinha de grãos quebrados de arroz.....	53
Figura 2.3	Espectro de absorção na região de infravermelho da farinha de grãos quebrados de arroz.....	54
Figura 2.4.	Propriedades térmicas da farinha de grãos quebrados de arroz.....	56
Figura 2.5	Perfil viscoamilográfico da farinha de grãos quebrados de arroz.....	60
Figura 3.1	Micrografias eletrônicas de varredura de polpa de açaí liofilizada (PAL). a) fragmentos de PAL com aumento de 300x; b) fragmentos de PAL com aumento. de 800x; c) detalhe de uma partícula de PAL com aumento de 1500x.....	86
Figura 3.2	Difratograma de Raio-X de farinha de grãos quebrados de arroz.....	89
Figura 3.3	Espectro de absorção do infravermelho da polpa de açaí liofilizada.....	90
Figura 3.4	Termograma de DSC da polpa de açaí liofilizada.....	91
Figura 3.5	Perfil viscoamilográfico da polpa de açaí liofilizada.....	93
Figura 4.1	SEM images (A: 5%, B: 10%, C: 15%, D: 20%) of extrudates of BGR with different levels of substitution of BRG with lyophilized açaí pulp. E: Image of extrusions obtained with 5%, 10%, 15% and 20% of flour from broken rice grains substitution by lyophilized açaí pulp (from top to bottom and from left to right, respectively).).	117
Figura 4.2	Principal Component Analysis for four levels of substitution of broken rice grains (BRG) for lyophilized açaí pulp (LAP) (5, 10, 15 and 20%) in relation to descriptive attributes (expansion index, specific volume, color parameters, hardness and total dietary fiber) and sensory scores (appearance, color, aroma, flavor, crispness and purchase intention).....	119

Figura 5.1	Teores de umidade (A), cinzas (B), proteínas (C), lipídeos (D), fibra (E) e carboidratos (F) das farinhas cruas e pré-gelatinizadas em diferentes níveis de substituições dos grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada.....	138
Figura 5.2	Teores de valor energético (A), compostos fenólicos totais (CFT) (B), capacidade antioxidante (C) e antocianinas (D) das farinhas cruas e pré-gelatinizadas com diferentes níveis de substituições dos grãos quebrados de arroz (GQA) por polpa de açaí liofilizada (PAL).....	140
Figura 5.3	Índice de absorção de água (IAA) (A), índice de solubilidade em água (ISA) (B) e índice de absorção de óleo (IAO) das farinhas cruas e pré-gelatinizadas com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz (GQA) por polpa de açaí liofilizada (PAL).....	145
Figura 5.4	Croma e ângulo Hue das farinhas cruas e pré-gelatinizadas em diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada.....	146
Figura 5.5	Termogramas farinhas com diferentes níveis de substituição (%) de grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada, cruas (A) e pré-gelatinizadas (B).....	149
Figura 5.6	Perfil viscoamilográfico das farinhas cruas e pré-gelatinizadas em diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada. A1: 0% crua; A2: 0% pré-gelatinizada; B1: 5% crua; B2: 5% pré-gelatinizada; C1: 10% crua; C2: 10% pré-gelatinizada; D1: 15% crua; D2: 15% pré-gelatinizada; E1: 20% crua; E2: 20% pré-gelatinizada.....	152
Figura 5.7	Microscopia eletrônica de varredura farinhas pré-gelatinizadas em diferentes níveis de substituição de PAL 5, 10, 15, e 20 % (C, D, E e F, respectivamente), grãos quebrados de arroz (A) e polpa de açaí liofilizada (B).....	153
Figura 6.1	Micrografia eletrônica varredura de cúrcuma em pó. a) farinha de cúrcuma em pó aumento de 800x; b) farinha de cúrcuma em pó aumento de 5000x.....	166
Figura 6.2	Difratograma de raio-X para amostra de farinha de cúrcuma em pó a 25°C.....	168

Figura 6.3	Propriedades térmicas da farinha de cúrcuma em pó.....	169
Figura 6.4	Perfil viscoamilográfico de cúrcuma em pó.....	170
Figura 6.5	Espectro de absorção do infravermelho da farinha de cúrcuma em pó...	171
Figura 7.1	Extrusados com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por farinha de cúrcuma em pó (0, 2, 4, 6, 8, 10%).....	188
Figura 7.2	A: Índice de expansão; B: Volume específico (g mL^{-1}); C: Dureza (N); D: Luminosidade; E) Coordenada de cromaticidade a^* ; F) Coordenada de cromaticidade b^* dos extrusados em função do nível de substituição dos grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó. Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade.....	190
Figura 7.3	Micrografia Eletrônica de varredura (MEV) dos extrusados de GQA com diferentes teores de CP de 0 % (A), 2% (B), 4% (C), 6% (D), 8% (E), 0%(F).....	191
Figura 7.4	Aceitação sensorial dos extrusados em relação ao nível de substituição de grãos quebrados de arroz (GQA) por cúrcuma em pó (CP): A: 2%; B: 4%; C: 6%; D: 8%; E: 10%; Classificação hedônica, “1 desgostei muitíssimo”, “9 gostei muitíssimo”. F: Intenção de compra: Classificação hedônica: “1 certamente não compraria”, “5 certamente compraria”	194

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A.1.1	Média dos dados experimentais de IE, VE, L, a*, b* e dureza dos extrusados em diferentes proporções de PAL em substituição aos GQA.....	202
Apêndice B.1.1	Análise de variância dos fatores e regressão para o índice de expansão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	202
Apêndice B.1.2	Análise de variância dos fatores e regressão para o volume específico em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	202
Apêndice B.1.3	Análise de variância dos fatores e regressão para a luminosidade em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	202
Apêndice B.1.4	Análise de variância dos fatores e regressão para a cromaticidade a* em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	203
Apêndice B.1.5	Análise de variância dos fatores e regressão para a cromaticidade b* em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	203
Apêndice B.1.6	Análise de variância dos fatores e regressão para a dureza em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	203
Apêndice C.2.1	Análise de variância dos fatores de regressão para umidade antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	203
Apêndice C.2.2	Análise de variância dos fatores de regressão para proteína antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	204
Apêndice C.2.3	Análise de variância dos fatores de regressão para cinzas antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	204
Apêndice C.2.4	Análise de variância dos fatores de regressão para cinzas antes da	

	extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	204
Apêndice C.2.5	Análise de variância dos fatores de regressão para lipídeos antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	204
Apêndice C.2.6.	Análise de variância dos fatores de regressão para lipídeos depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	205
Apêndice C.2.7	Análise de variância dos fatores de regressão para fibras antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	205
Apêndice C.2.8	Análise de variância dos fatores de regressão para fibras depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	205
Apêndice C.2.9	Análise de variância dos fatores de regressão para carboidratos antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	205
Apêndice C.2.10	Análise de variância dos fatores de regressão para carboidratos depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	206
Apêndice C.2.11	Análise de variância dos fatores de regressão para valor energético antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	206
Apêndice C.2.12	Análise de variância dos fatores de regressão para valor energético depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	206
Apêndice C.2.13	Análise de variância dos fatores de regressão para índice de absorção de água antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	206
Apêndice C.2.14	Análise de variância dos fatores de regressão para índice de absorção de água depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz..	207
Apêndice C.2.15	Análise de variância dos fatores de regressão para índice de	

	solubilidade em água antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	207
Apêndice C.2.16	Análise de variância dos fatores de regressão para índice de solubilidade em água depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	207
Apêndice C.2.17	Análise de variância dos fatores de regressão para índice de absorção de óleo depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz...	207
Apêndice C.2.18	Análise de variância dos fatores de regressão para compostos fenólicos totais antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	208
Apêndice C.2.19	Análise de variância dos fatores de regressão para compostos fenólicos totais depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	208
Apêndice C.2.20	Análise de variância dos fatores de regressão para antioxidantes antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	208
Apêndice C.2.21	Análise de variância dos fatores de regressão para antioxidantes depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	208
Apêndice C.2.22	Análise de variância dos fatores de regressão para croma C* antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	209
Apêndice C.2.23	Análise de variância dos fatores de regressão para croma C* depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	209
Apêndice C.2.24	Análise de variância dos fatores de regressão para ângulo Hue antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	209
Apêndice C.2.25	Análise de variância dos fatores de regressão para ângulo Hue depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada	

	em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	209
Apêndice C.2.26	Análise de variância dos fatores de regressão para entalpia de gelatinização antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	210
Apêndice C.2.27	Análise de variância dos fatores de regressão para quebra de viscosidade antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	210
Apêndice C.2.28	Análise de variância dos fatores de regressão para retrogradação antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	210
Apêndice C.2.29	Análise de variância dos fatores de regressão para viscosidade final antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	210
Apêndice C.2.30	Análise de variância dos fatores de regressão para viscosidade de pasta antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.....	211
Apêndice D.2.1	Teste ANOVA fatorial para umidade em relação ao tratamento de extrusão.....	211
Apêndice D.2.2	Teste ANOVA fatorial para proteína em relação ao tratamento de extrusão.....	211
Apêndice D.2.3	Teste ANOVA fatorial para cinzas em relação ao tratamento de extrusão.....	211
Apêndice D.2.4	Teste ANOVA fatorial para lipídeos em relação ao tratamento de extrusão.....	212
Apêndice D.2.5	Teste ANOVA fatorial para fibras em relação ao tratamento de extrusão.....	212
Apêndice D.2.6	Teste ANOVA fatorial para carboidratos em relação ao tratamento de extrusão.....	212
Apêndice D.2.7	Teste ANOVA fatorial para valor energético em relação ao tratamento de extrusão.....	212
Apêndice D.2.8	Teste ANOVA fatorial para ângulo Hue* em relação ao tratamento de extrusão.....	213
Apêndice D.2.9	Teste ANOVA fatorial para croma C* em relação ao tratamento	

	de extrusão.....	213
Apêndice D.2.10	Teste ANOVA fatorial para índice de absorção de água em relação ao tratamento de extrusão.....	213
Apêndice D.2.11	Teste ANOVA fatorial para índice de solubilidade em água em relação ao tratamento de extrusão.....	213
Apêndice D.2.12	Teste ANOVA fatorial para índice de absorção de óleo em relação ao tratamento de extrusão.....	214
Apêndice D.2.13	Teste ANOVA fatorial para compostos fenólicos totais em relação ao tratamento de extrusão.....	214
Apêndice D.2.14	Teste ANOVA fatorial para propriedade antioxidante em relação ao tratamento de extrusão.....	214
Apêndice D.2.15	Teste ANOVA fatorial para antocianinas monoméricas em relação ao tratamento de extrusão.....	214
Apêndice E.3.1	Média dos dados experimentais de IE, VE, L, a*, b*, C*, Hue e dureza dos extrusados em diferentes proporções de CP em substituição aos GQA.....	217
Apêndice F.3.1	Análise de variância e fatores de regressão para índice de expansão dos extrusados.....	216
Apêndice F.3.2	Análise de variância e fatores de regressão para volume específico dos extrusados.....	216
Apêndice F.3.3	Análise de variância e fatores de regressão para dureza dos extrusados.....	216
Apêndice F.3.4	Análise de variância e fatores de regressão para luminosidade dos extrusados.....	216
Apêndice F.3.5	Análise de variância e fatores de regressão para croma a dos extrusados.....	216
Apêndice F.3.6	Análise de variância e fatores de regressão para croma b* dos extrusados.....	217
Apêndice F.3.7	Análise de variância e fatores de regressão para croma C dos extrusados.....	217
Apêndice F.3.8	Análise de variância e fatores de regressão para ângulo Hue dos extrusados.....	217

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.1	Ficha de avaliação sensorial com escala hedônica de nove pontos.....	219
Anexo A.2	Ficha de avaliação sensorial com escala hedônica de 5 pontos.....	220
Anexo A.3	Termo de consentimento livre esclarecido.....	221
Anexo A.4	Comprovante de aprovação do projeto pelo comitê de ética.....	223
Anexo A.5	Normas do periódico.....	222

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1		27
1.1	INTRODUÇÃO	27
1.2	REVISÃO DE LITERATURA	28
1.2.1	Cereal matinal, salgadinhos e farinhas pré-gelatinizadas extrusados	28
1.2.2	Grãos quebrados de arroz	30
1.2.3	Açaí	32
1.2.4	Cúrcuma	33
1.2.5	Compostos bioativos	34
1.3	OBJETIVOS	36
1.3.1	Objetivo geral	36
1.3.2	Objetivos específicos	36
REFERÊNCIAS		37
CAPÍTULO 2 QUALIDADE FÍSICA, QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE FARINHA DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ		43
2.1	INTRODUÇÃO	43
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	44
2.2.1	Granulometria	45
2.2.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	45
2.2.3	Cor	45
2.2.4	Difração de raio-x e cristalinidade relativa	46
2.2.5	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho	46
2.2.6	Propriedades térmicas	47
2.2.7	Absorção e solubilidade em água e absorção de óleo	47
2.2.8	Propriedades de pasta	48
2.2.9	Atividade de água, acidez total titulável e ph	49
2.2.10	Composição centesimal	49
2.2.11	Açúcares totais, redutores e não redutores	49
2.2.12	Análise microbiológica	50
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
2.3.1	Características físicas	50
2.3.1.1	Granulometria	50
2.3.1.2	Microscopia eletrônica de varredura	50
2.3.1.3	Cor	51
2.3.1.4	Difração de raio-x e cristalinidade relativa	52
2.3.1.5	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho	54
2.3.1.6	Propriedades térmicas	55
2.3.1.7	Absorção e solubilidade em água, e absorção de óleo	57
2.3.1.8	Propriedades de pasta	59
2.3.2	Características químicas	62
2.3.2.1	Umidade	62
2.3.2.2	Proteína	62
2.3.2.3	Cinzas	64
2.3.2.4	Lipídeos	64
2.3.2.5	Fibra Alimentar Total	65
2.3.2.6	Carboidratos totais e valor energético	65
2.3.2.7	Açúcares totais e redutores	66
2.3.2.8	pH, acidez e atividade de água	66

2.3.3	Risco microbiológico	67
2.4	CONCLUSÃO	68
	REFERENCIAS	68
CAPITULO 3	CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS, FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DE POLPA DE AÇAÍ LIOFILIZADA	77
3.1	INTRODUÇÃO	78
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	79
3.2.1	Matéria-prima e processamento	79
3.2.2	Granulometria	80
3.2.3	Microscopia eletrônica de varredura	80
3.2.4	Parâmetros instrumentais de cor	80
3.2.5	Índices de solubilidade em água, de absorção de água e de óleo	81
3.2.6	Difração de raio-x e cristalinidade relativa	82
3.2.7	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho	82
3.2.8	Propriedades térmicas	83
3.2.9	Propriedades de pasta	83
3.2.10	Atividade de água, acidez total titulável e ph	84
3.2.11	Composição centesimal e valor energético total	84
3.2.12	Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais	84
3.2.13	Açúcares totais, redutores e não redutores	85
3.2.14	Análise microbiológica	85
3.2.15	Análise dos resultados	85
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
3.3.1	Granulometria	85
3.3.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	86
3.3.3	Parâmetros instrumentais de cor	87
3.3.4	Índices de solubilidade em água, de absorção de água e de óleo	87
3.3.5	Difração de raio-x e cristalinidade relativa	88
3.3.6	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho	90
3.3.7	Propriedades térmicas	91
3.3.8	Propriedades de pasta	92
3.3.9	Composição química e atividade antioxidante	93
3.3.10	Risco microbiológico	98
3.4	CONCLUSÃO	98
	REFERÊNCIAS	98
CAPÍTULO 4	EFFECTS OF LYOPHILIZED AÇAÍ PULP (EUTERPE OLERACEAE) AND BROKEN GRAINS OF RICE ON BREAKFAST CEREAL QUALITY	107
4.1	INTRODUCTION	108
4.2	RAW MATERIALS	109
4.2.1	Açaí pulp freeze-drying	109
4.2.2	Breakfast cereal processing	109
4.2.3	Physical characteristic	110
4.2.4	Total dietary fiber	111
4.2.5	Scanning electron microscopy.	111
4.2.6	Microbiological risk and sensory acceptance	111
4.2.7	Data evaluation and selection of best breakfast cereal	112
4.2.8	Chemical composition and total energetic	112
4.2.9	Antioxidant activity and bioactive compounds	112

4.3	RESULTS AND DISCUSSION	113
4.3.1	Total dietary fiber and physical properties (univariate analysis)	113
4.3.2	Microbiological risk and sensory acceptance	118
4.3.3	Principal components analysis (PCA) and selection of the best breakfast cereal	119
4.3.4	Chemical composition, energy value, bioactive compounds and antioxidant capacity	121
4.4	CONCLUSION	124
	REFERENCES	124
	CAPITULO 5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E FUNCIONAIS DE FARINHAS DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ E POLPA DE AÇAÍ LIOFILIZADA CRUAS E PRÉ-GELATINIZADAS	128
5.1	INTRODUÇÃO	129
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS	130
5.2.1	Matérias-primas	130
5.2.2	Preparo das matérias-primas	130
5.2.3	Processamento das farinhas pré-gelatinizadas	130
5.2.4	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	131
5.2.5	Cor	132
5.2.6	Solubilidade em água, absorção de água e de óleo	132
5.2.7	Propriedades térmicas	133
5.2.8	Propriedades de pasta	133
5.2.9	Composição centesimal	133
5.2.10	Capacidade antioxidante, compostos fenólicos e antocianinas	134
5.2.11	Análise dos resultados	134
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	134
5.3.1	Composição química	134
5.3.2	Índice de absorção de água e de óleo e solubilidade em água	141
5.3.2.1	Índice de absorção de água	141
5.3.2.2	Índice de solubilidade em água	142
5.3.2.3	Índice de absorção de óleo	143
5.3.3	Parâmetros instrumentais de cor	143
5.3.4	Propriedades térmicas e de pasta	146
5.3.5	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	150
5.4	CONCLUSÃO	153
	REFERÊNCIAS	153
	CAPÍTULO 6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, FUNCIONAIS E MICROBIOLÓGICAS DE CÚRCUMA EM PÓ	157
6.1	INTRODUÇÃO	158
6.2	MATERIAIS E MÉTODOS	158
6.2.1	Granulometria	159
6.2.2	Microscopia eletrônica de varredura	159
6.2.3	Cor	159
6.2.4	Difração de raio x e cristalinidade relativa	160
6.2.5	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho	160
6.2.6	Propriedades térmicas	160
6.2.7	Propriedades de pasta	161
6.2.8	Absorção e solubilidade em água e absorção de óleo	161

6.2.9	Atividade de água, acidez total e potencial hidrogeniônico	162
6.2.10	Composição centesimal	163
6.2.11	Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais	163
6.2.12	Açúcares totais, redutores	163
6.2.13	Análise microbiológica	164
6.2.14	Análise dos resultados	164
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	164
6.3.1	Características físicas	164
6.3.1.1	Granulometria	164
6.3.1.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	165
6.3.1.3	Parâmetros instrumentais de cor	166
6.3.1.4	Difração de raio-X e cristalinidade relativa	166
6.3.1.5	Propriedades térmicas	167
6.3.1.6	Propriedades de pasta	168
6.3.1.7	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho	169
6.3.2	Absorção de água e óleo e solubilidade em água	170
6.3.3	Características químicas	171
6.3.4	Análise microbiológica	173
6.4	CONCLUSÃO	174
REFERENCIAS		174
CAPÍTULO 7	QUALIDADE DE SALGADINHOS EXTRUSADOS OBTIDOS A PARTIR DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ E CÚRCUMA EM PÓ	179
7.1	INTRODUÇÃO	180
7.2	MATERIAL E MÉTODOS	181
7.2.1	Matérias-primas	181
7.2.2	Preparo das matérias-primas	181
7.2.3	Processamento dos salgadinhos	181
7.2.4	Cor instrumental	182
7.2.5	Volume específico	182
7.2.6	Índice de expansão	183
7.2.7	Dureza instrumental	183
7.2.8	Microscopia eletrônica de varredura	183
7.2.9	Risco microbiológico	183
7.2.10	Aceitação sensorial	184
7.2.11	Análise estatística e seleção do melhor salgadinho	184
7.2.12	Composição centesimal	185
7.2.13	Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais	185
7.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	185
7.3.1	Propriedades físicas dos extrusados	185
7.3.2	Risco microbiológico e avaliação sensorial	191
7.3.3	Caracterização do salgadinho selecionado	192
7.4	CONCLUSÃO	195
REFERÊNCIAS		195
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	198
APÊNDICES		199
ANEXOS		

CAPITULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oriza sativa*) é um dos três cereais mais produzidos e consumidos no mundo, ficando atrás apenas do trigo e do milho, devido suas características nutricionais e grande adaptabilidade às mais variadas condições de solo e clima. Destaca-se, por ser um alimento básico da maioria da população, integrando a dieta de aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas no mundo (NASCENTE et al., 2011).

Durante o processamento do arroz são produzidos em média 14% de grãos quebrados, que para indústria arroseira é um problema econômico, pois o subproduto possui valor bem inferior ao do grão inteiro. Porém, ambos contêm a mesma composição centesimal, e constituem fonte rica de amido. Os grãos quebrados de arroz podem ser processados de várias formas, como por meio da extrusão termoplástica, um processo de cozimento e formatação, que confere funcionalidade física e química aos produtos (SILVA; ASCHERI, 2009; SILVA et al., 2011).

Dentre os vários produtos processados por extrusão ganham destaque na alimentação dos brasileiros as farinhas pré-gelatinizadas, os cereais matinais e os salgadinhos. O consumo desses produtos vem ao encontro das novas tendências alimentares, tais como, praticidade, sabores e tipos que agradam todas as idades, assumindo o lugar de ingredientes ou alimentos energéticos, protéicos, nutritivos, e saudáveis podendo ser formulados com adição de frutas e outros vegetais, que além de nutrientes podem conter compostos bioativos (SOUZA; MENEZES, 2006).

Alguns vegetais, como o açaí e a cúrcuma, contêm, além dos nutrientes essenciais como minerais, fibras e vitaminas, diversos compostos secundários de natureza fenólica, denominados polifenóis (FERREIRA et al., 2013; YAMAGUCHI et al., 2015). Os compostos fenólicos estão relacionados com intensas atividades biológicas, promovendo efeitos benéficos em relação à saúde devido as suas propriedades antioxidantes (ANGELO; JORGE, 2007; VOLP; RENHE; STRINGUETA, 2009). A associação destes vegetais com os grãos quebrados de arroz pode conferir aos produtos maior funcionalidade, devido às crescentes descobertas científicas, que destacam a presença de componentes benéficos a saúde e suas propriedades medicinais que podem ser vinculadas a prevenção de doenças (VIALTA; REGO, 2014).

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), é um fruto altamente energético devido ao elevado teor de lipídeos, constituídos principalmente por ácidos graxos insaturados ômega 6 e 9. Este fruto possui grande quantidade de compostos antioxidantes, dentre eles um dos mais importantes grupos de pigmentos de origem vegetal, as antocianinas (PORTINHO; ZIMMERMANN; BRUCK, 2012). Estas constituem um potente antioxidante quando comparadas com outros antioxidantes naturais e quando adicionado a alimentos, propiciam a prevenção contra a auto-oxidação e peroxidação de lipídeos em sistemas biológicos, constituindo um importante aliado na prevenção da degeneração das células (LOPES et al., 2007).

Os rizomas de cúrcuma (*Cúrcuma longa* L.), também possuem propriedades. A qualidade dos caules subterrâneos é caracterizada e avaliada pela presença do corante curcumina e óleos essenciais. Estes pigmentos fenólicos têm grandes propriedades bioativas, tais como: ação antioxidante, que protege os componentes celulares dos danos oxidativos, ação antiinflamatória e anti-séptica, sendo encontrados nos rizomas em concentrações que variam de 2,8 a 8 g 100 g⁻¹ (CHEN et al., 2010).

Nos últimos anos os consumidores tornaram-se cada vez mais conscientes dos ingredientes dos seus alimentos e como tal requerem alimentos tão naturais e saudáveis quanto possível. Assim, este trabalho pretende verificar a viabilidade física, química, tecnológica, microbiológica e sensorial de produzir cereal matinal a partir de diferentes proporções de grãos quebrados de arroz e polpa de açaí liofilizada, e de salgadinhos com grãos quebrados de arroz e cúrcuma em pó, bem como, avaliar as características físicas e químicas das matérias-primas antes do processo e comparar com as das farinhas pré-gelatinizadas obtidas, de forma a verificar se ocorrem perdas de nutrientes ou de propriedades funcionais e tecnológicas durante o processo de extrusão.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Cereal matinal, salgadinhos e farinhas pré-gelatinizadas extrusados

A extrusão é um processo completo e contínuo que combina várias operações unitárias, incluindo, transporte, mistura, assamento, cisalhamento, formação e moldagem. A matéria-prima processada é submetida a várias modificações, tais como: hidratação de proteínas e amidos, homogeneização, gelatinização do amido, liquefação de gorduras,

desnaturação de proteínas, plastificação, e expansão do material processado, formando produtos com novas formas e texturas prontas para o consumo, ou após a moagem dos mesmos as farinhas pré-gelatinizadas, ingredientes com instantaneidade e outras propriedades características. O cozimento por extrusão é um processo de alta temperatura e curto tempo (High Temperature Short Time- HTST) que reduz a contaminação microbiana pela redução da atividade de água, minimiza a perda de nutrientes, além de inativar as enzimas (MARTINEZ et al., 2014). As características do produto final dependem diretamente das propriedades da matéria-prima, como conteúdo de água, estrutura física e composição química, além das condições em que a extrusão é realizada como temperatura, pressão, tamanho do orifício da matriz, e intensidade das forças de cisalhamento (CARVALHO et al., 2012a; WANG et al., 2016).

Dentre os benefícios do processo de extrusão está a versatilidade devido à ampla variedade de produtos a serem desenvolvidos por este processo, o baixo custo de processamento, as altas taxas de produção, a alta qualidade sanitária dos produtos finais devido à aplicação de altas temperaturas de cozimento, a manutenção de muitos componentes termosensíveis, e a ausência de efluentes do processo, reduzindo problemas de poluição ambiental, motivos pelos quais o processamento de alimentos por extrusão vem ganhando destaque e expansão na indústria de alimentos. Desta forma, a extrusão possui um vasto campo de aplicações, podendo ser utilizada para produzir massas alimentícias, salsichas, produtos de confeitaria, produtos de cereais (*crispbread*, cereais matinais) e alimentos a base de proteína (proteína vegetal texturizada- PVT) (FELLOWS, 2006; ORDONEZ, 2005).

Os cereais matinais vêm ganhando um espaço cada vez maior na alimentação dos brasileiros. O seu consumo vem ao encontro das novas tendências alimentares, tais como, praticidade, sabores e tipos que agradam todas as idades, assumindo o lugar energéticos, proteicos, nutritivos, e saudáveis (SOUZA; MENEZES, 2006). Os cereais matinais geralmente são produtos extrusados de alto teor de proteína, carboidratos e fibras, podendo ser enriquecidos com vitaminas e sais minerais aumentando seu valor nutritivo (TAKEUCHI; SABADINI; CUNHA, 2005). As principais matérias-primas utilizadas nas formulações desses produtos são arroz, trigo, aveia e milho ou até mesmo mistura desses cereais, ricos em amido, na forma de farinha, mas podem ser empregadas outras matérias-primas, visando fazer um enriquecimento nutricional ou com compostos funcionais (SILVA et al., 2011).

Os salgadinhos, assim como os cereais matinais, são produtos de conveniência e praticidade (*snacks*), caracterizados por satisfazerem a vontade de comer ou de saciar a fome fora do horário das refeições, podendo ser fabricados com adição de outros vegetais em suas

formulações. Há vários estudos científicos que destacam a presença de componentes benéficos à saúde e suas propriedades medicinais que podem ser vinculadas a prevenção de doenças. Neste caso, há uma tendência à incorporação de saudabilidade, permitindo ao consumidor substituir refeições sem, no entanto, sacrificar a sua saúde (CAPRILES et al., 2010).

Farinhas pré-gelatinizadas são aquelas que passaram por um determinado pré-cozimento ao qual é modificada a estrutura amilácea presente, conferindo a estas uma melhoria na textura, poder espessante, resistência ao cisalhamento, e capacidade de absorção de água (AUGUSTO-RUIZ et al., 2003). Estas podem ser obtidas em escala industrial por utilização de atomizadores, secagem em rolos e por extrusão termoplástica (CLERICI; EL-DASH, 2008). Caracteriza-se por ser um alimento em pó instantâneo de fácil miscibilidade com a água, tal como leite em pó, café solúvel, mistura para pudins, flans entre outras (VISSOTO et al., 2006).

A pré-gelatinização de farinhas é um processo vantajoso visto que, pode ser utilizada em uma variedade de matérias-primas tais como, arroz, trigo, mandioca, batata entre outros, além de co-produtos destes alimentos. Ademais, o processo de extrusão empregado na pré-gelatinização é mais proveitoso para substituir o processo convencional na produção de farinhas pré-gelatinizadas, devido ao controle mais rigoroso do grau de gelatinização, onde mínimas modificações no equipamento e matéria-prima proporcionam diferentes resultados na qualidade do produto final (CLERICI; EL-DASH, 2008). Essas farinhas podem ser utilizadas na preparação de alimentos prontos e semi prontos como: mingaus, molhos, sopas e outros alimentos instantâneos tendo suas aplicações ampliadas como ingrediente alimentício (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2003; LUTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009; NASCIMENTO et al., 2014; ORTOLAN et al., 2015).

1.2.3 Grãos quebrados de arroz

O arroz está entre os cereais mais consumidos no Brasil e no mundo, sendo o principal produto da cesta básica do brasileiro. O consumo anual é em média 25 kg por habitante. A produção está distribuída nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso. Sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor brasileiro. Atualmente o Brasil encontra-se entre os dez maiores importadores de arroz, absorvendo cerca de 5% do volume das exportações mundiais. O arroz no Brasil tem grande importância social, econômica e

política. As projeções de produção e consumo de arroz mostram que o Brasil vai colher 14,12 milhões de toneladas de arroz na safra 2019/2020. Equivalente a um aumento anual da produção de 1,15% nos próximos dez anos. O consumo deverá crescer a uma taxa média anual de 0,86%, alcançando 14,37 milhões de toneladas em 2019/2020 (EMBRAPA, 2010; MAPA, 2014).

Durante o beneficiamento do arroz há produção de grãos quebrados de arroz devido à quebra dos grãos, gerando um subproduto que é rejeitado para consumo humano, porém contém a mesma composição centesimal média do grão inteiro. É um subproduto de baixo custo e alto valor energético, em média 349,64 Kcal 100 g^{-1} (CARVALHO et al., 2012). Os grãos quebrados de arroz são ricos em amido, que apresenta um importante papel tecnológico, quando o amido é processado por extrusão termoplástica, por exemplo, passa por modificações químicas e físicas que lhe conferem propriedades desejáveis para aplicação em alimentos instantâneos (SILVA; ASCHERI, 2009).

Os produtos desenvolvidos com grãos quebrados de arroz podem proporcionar às pessoas celíacas uma alternativa como fonte de energia, pois estes produtos não possuem gliadina que estão contidas em dietas alimentares à base de trigo, aveia e centeio (CLERICA; EL-DARSH, 2006). Além disso, os grãos quebrados de arroz, provindos de diferentes cultivares, podem se apresentar com diferentes teores de amilose, possibilitando a seleção de acordo com a finalidade (SILVA; ASCHERI, 2009).

O amido é um polissacarídeo formado pela condensação de monossacarídeos ou seus derivados, unidos entre si por ligações glicosídicas. Está disponível em abundância na natureza como um carboidrato de reserva (LAJOLO; MENEZES, 2006). Constitui a mais importante reserva de energia de todas as plantas superiores, ocorrendo principalmente em sementes, tubérculos, rizomas e bulbos, sendo um dos nutrientes mais importantes da alimentação humana. Normalmente está presente na forma de grãos birrefringentes, cuja aparência varia de acordo com a origem (BOBBIO, 2003; AMARAL et al., 2007).

Este polissacarídeo é constituído por uma mistura de dois polissacarídeos denominados amilose e amilopectina, em proporções que variam entre os procedentes de diferentes espécies vegetais, e mesmo entre amidos provenientes da mesma espécie. As proporções de amilose e de amilopectina também variam de acordo com o grau de maturação das plantas (LAJOLO; MENEZES, 2006).

A amilose e amilopectina diferem entre si no tamanho molecular e no grau de ramificação. A amilopectina possui molécula maior e maior grau de ramificações em sua cadeia, em contrapartida, a amilose possui cadeia linear e menor tamanho molecular.

Moléculas de amilose de cereais são geralmente menores do que aquelas de outras origens (tubérculos e leguminosas), e suas proporções influem na viscosidade e no poder de gelificação do amido (DENARDIN; SILVA, 2009).

A principal propriedade do amido presente em farinhas é a gelatinização, aumento irreversível dos grânulos de amido quando submetidos a aquecimento, resultando no aumento da viscosidade de soluções. Nesse processo ocorre perda da organização estrutural (perda da birrefringência), com fusão dos cristais e aumento da sua digestibilidade (WANG; COPELAND, 20123; TORO et al., 2016). A gelatinização é utilizada na indústria de alimentos para dar viscosidade a líquidos e pastas, conferindo textura desejada aos alimentos (BERTOLINI, 2010).

1.2.4 Açaí

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é encontrado em abundância na região do estuário do rio Amazonas, adaptado às condições elevadas de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar. Apresentando-se como a palmeira mais produtiva desse estuário. O Brasil destaca-se mundialmente como o maior produtor, consumidor, e exportador desse produto. O principal centro de dispersão dessa palmeira é o estado do Pará, responsável por 95% da produção de açaí, porém pode ser encontrado nos estados do Amapá, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (GORDON et al., 2012; EMBRAPA, 2014).

Do açaizeiro provém o fruto açaí, um alimento básico para populações de origem ribeirinhas da região Amazônia. A polpa do açaí é extraída do restante do fruto por meio de despulpadeiras de ácido inoxidável, e é classificada em: polpa de açaí (sem adição de água na extração e sem filtração); açaí grosso ou especial tipo A (com adição de água e filtração, apresentando acima de 14% de sólidos totais); açaí médio ou regular (tipo B) (com adição de água e filtração, apresentando acima de 11 a 14% de sólidos totais); açaí fino ou popular (tipo C) (com adição de água e filtração, apresentando de 8 a 11% de sólidos totais) (BRASIL, 2000).

O açaí, antes destinado somente ao consumo regional, tem sido transportado para outros estados brasileiros e até mesmo para outros países (na forma polpa congelada ou mix com banana, granola, guaraná), tornando-se uma importante fonte de renda e emprego (EMBRAPA, 2014). É considerado o fruto mais nutritivo da Amazônia, contendo alto valor calórico (794 kcal 100 g⁻¹ de polpa) com elevado percentual de lipídeos (41,85%), rico em

proteínas (8,91%), vitamina e minerais (principalmente potássio e cálcio), sendo capaz de suprir cerca de 70% da necessidade teórica recomendada de lipídeos para um homem adulto, e prover entre 25% e 65% da quantidade de proteínas (ROGEZ, 2000; PIERUCI; PEREIRA, 2014). Ainda não foi descrito na literatura a utilização da polpa de açaí liofilizada na formulação de cereais matinais extrusados. Pois, ainda é recente a tentativa por parte da pesquisa e da indústria de alimentos de incluir compostos bioativos neste tipo de alimento.

A polpa representa 15% do fruto e é rica em antocianinas. Estas substâncias pertencem ao grupo dos compostos fenólicos e estão presentes no açaí em valores elevados, contendo cerca de 135 mg 100 g⁻¹ de extrato seco (WONG et al., 2013). Além disto, possuem propriedades antioxidante, importante na eliminação dos radicais livres, propriedades anticarcinogênica e protegem o organismo contra o acúmulo de placas de depósito de lipídeos, causadores da arteriosclerose (ALASALVAR et al., 2005; PIMENTEL; FRANCKI; GOLLUCKE, 2005; ALVES et al., 2010; SILVA, 2010). A polpa de açaí é aproveitada de forma tradicional no consumo alimentar, sorvetes, licores, doces, na preparação de peixes, camarões ou carnes, e para extração de corantes e antocianinas (EMBRAPA, 2014), mas ainda não na forma liofilizada como ingrediente na formulação de cereal matinal.

1.2.5 Cúrcuma

A cúrcuma é uma especiaria proveniente dos rizomas da planta *Curcuma longa* L., composta principalmente por amido (25 a 50 g 100 g⁻¹), proteína (4 a 10 g 100 g⁻¹), fibras e cinzas (2 a 7 g 100 g⁻¹) (CECÍLIO FILHO et al., 2000). Também possui pigmentos, curcuminóides e óleos essenciais. Sua composição química é influenciada por fatores como planta matriz, tipo de solo, clima, adubação, disponibilidade hídrica, época de colheita, tempo de armazenamento, dentre outros (SCARTEZZINI; SPERONI, 2000).

A planta teve origem na Ásia, porém atualmente é cultivada em diferentes partes do mundo com clima quente e úmido, sendo aproveitada como agente de coloração na indústria de alimentos, uma alternativa natural para substituição de pigmentos sintéticos, especialmente a tartrazina. A especiaria possui ainda propriedade conservante de alimentos e diversas propriedades medicinais (PERET-ALMEIDA et al., 2008; PRASAD; AGGAEWAL, 2011).

No Brasil, a cúrcuma ainda tem pequena expressão econômica, sendo cultivada principalmente em Mara Rosa – GO, município com o maior plantio comercial do país, com a

produção destinada em quase sua totalidade às indústrias nacionais de corantes e alimentos (CECÍLIO FILHO et al., 2000). Porém, nos países asiáticos a cúrcuma é mais consumida em função de suas propriedades medicinais. Na medicina hindu, é extensivamente utilizada no tratamento de entorse e inchações causadas por ferimentos, enquanto que na China em tratamento de doenças associadas a dores abdominais (ARAÚJO; LEON, 2001; THOMAS-EAPEN, 2009).

Nas ultimas décadas, tem havido um interesse considerável nos compostos bioativos da cúrcuma, os curcuminóides. O principal curcuminóide é chamado de curcumina, fazendo parte de 59% do total de curcuminoides presentes na cúrcuma, representando a fração mais importante desse rizoma (PERET-ALMEIDA et al., 2008). Vários estudos em animais e *in vitro* descrevem o poder antioxidante, anti-inflamatório, antiviral e antifúngico desses compostos (FRANCO et al., 2007; SINGH et al., 2010; PIZZIOLO et al., 2011; SINDHU et al., 2011; GOUDER; LINGAMALLU, 2012).

Esse composto tem se mostrado útil para proteção de algumas doenças, como o câncer, surgindo um interesse como potencial agente terapeutico para prevenção de várias doenças carcinogênicas (ZHOU et al., 2011). Ainda não foi descrito na literatura a utilização da cúrcuma em pó na formulação de salgadinhos extrusados. Pois, ainda é recente a tentativa por parte da pesquisa e da indústria de alimentos de incluir compostos bioativos neste tipo de alimento.

1.2.6 Compostos bioativos

Os novos estilos de vida e hábitos alimentares expõem o homem a uma gama de fatores de risco para doenças crônicas não transmissíveis. Dentre os fatores de risco está o consumo de dietas desequilibradas, além de uma vida estressada e sedentária. Isto tem mudado o perfil epidemiológico dos países, com um número crescente de doenças como diabetes, obesidade, hipertensão, doenças cardiovasculares, osteoporose e vários tipos de cânceres. Deste modo, em todo o mundo, há uma procura incessante por alimentos que contribuam para obtenção de uma saúde adequada. De fato, uma saúde adequada provém da ingestão de vários tipos de alimentos contendo nutrientes e não nutrientes (por exemplo: pigmentos naturais), cada um desempenhando diferentes efeitos biológicos e fisiológicos protetores à saúde humana (função bioativa) (VOLP; RENHE; STRIGUETA, 2009).

Um composto é biologicamente ativo quando exerce uma ação específica sobre um determinado ser vivo, seja ele animal (ácidos graxos da família ômega 3, ácidos graxos conjugados) ou vegetal (fitoesteróis, terpenos, compostos fenólicos). As frutas e hortaliças são as principais fontes alimentares destes compostos, apresentam variações qualitativas e quantitativas na composição desses constituintes em função de fatores intrínsecos (cultivar, variedade, estágio de maturação) e extrínsecos (condições climáticas), sendo utilizados com diversas finalidades, principalmente para manutenção da saúde, pois estes interferem em alvos fisiológicos, modulando a defesa antioxidante, frente a processos inflamatórios e mutagênicos, os quais estão relacionados a várias doenças. Os compostos bioativos vegetais compreendem uma grande variedade de componentes químicos com diferentes propriedades físico-químicas (polaridade, solubilidade, capacidade de formar pontes de hidrogênio, potencial de oxido redução) que irão determinar tanto o tipo, quanto eficiência de atividade, assim como o meio e a estrutura celular em que podem atuar (REYNERSTON et al., 2008).

Dentre esses se destacam os compostos fenólicos que estão presentes nos alimentos vegetais divididos em várias classes. Dentre essas, os flavonoides, uma das classes de metabólitos secundários mais importantes no reino vegetal, formam um grupo de grande importância que são divididos em subclasses a partir de suas estruturas químicas como: flavonas, isoflavonas, antocianinas, flavonóis, chalconas (CAMPUS et al., 2008).

As antocianinas são pigmentos que conferem uma coloração que varia do vermelho, laranja ou azul, apresentando grande capacidade antioxidante, reagindo com radicais livres, e portanto, contribuindo para prevenção de várias doenças como: atividade anti-inflamatória; antialérgica; inibição da agregação de plaquetas nos vasos sanguíneos, inibição da oxidação do colesterol LDL, antitrombótica; antimicrobiana e antineoplástica (JAQUES; ZAMBLAZI, 2011). Por sua vez, a eficácia da ação antioxidante depende da concentração destes fitoquímicos no alimento (MELO et al., 2008).

Com isso, aumenta a importância de compreender melhor a estabilidade desses compostos em alimentos, frente ao processamento a que são submetidos antes da ingestão. É interessante saber quanto à manipulação dos alimentos, desde a colheita, processamento, até o consumo, o que pode afetar o conteúdo de antioxidantes naturais (VOLP; RENHE; STRIGUETA, 2009). Neste contexto se insere a hipótese de que o processamento por liofilização e posterior extrusão (quando incorporada em cereais matinais) não altera as propriedades bioativas das antocianinas da polpa do açaí, ou da secagem e extrusão (quando incorporada em salgadinhos) da cúrcuma.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades físicas, físico-químicas, microbiológicas e aceitação de cereal matinal produzido a partir de diferentes proporções de grãos quebrados de arroz e polpa de açaí liofilizada, e de salgadinhos com grãos quebrados de arroz e cúrcuma em pó, bem como, avaliar as características físicas e químicas das matérias-primas antes do processo e comparar com as das farinhas pré-gelatinizadas obtidas, de forma a verificar se ocorrem perdas de nutrientes ou de propriedades funcionais durante o processo de extrusão.

1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar as propriedades físicas, químicas e estruturais das matérias-primas (GQA, PAL e CP): granulometria, microscopia eletrônica de varredura, propriedades térmicas, parâmetros instrumentais de cor, absorção em água e óleo, solubilidade em água, propriedades de pasta, atividade de água, atividade antioxidante, pH, acidez titulável, umidade, cinzas, lipídios, proteína, açúcares totais e redutores, fibra alimentar total, difratometria de raio-X, espectroscopia de infravermelho;
- Produzir cereais matinais a partir diferentes proporções de GQA e PAL, e salgadinhos com diferentes proporções de GQA e CP.
- Determinar o risco microbiológico e a aceitação dos produtos obtidos;
- Avaliar o efeito do nível de substituição de GQA por PAL, e de GQA por CP, sobre as propriedades físicas (volume específico, índice de expansão, parâmetros instrumentais de cor e dureza) dos cereais matinais e dos salgadinhos experimentais, respectivamente, e selecionar os produtos experimentais com maior desejabilidade, em função da comparação com produtos tradicionais comercializados;
- Caracterizar os produtos selecionados em relação à composição centesimal, valor energético, capacidade antioxidante e compostos fenólicos.
- Desenvolver farinhas pré-gelatinizadas em condições brandas de extrusão com diferentes substituições de polpa de açaí liofilizada aos grãos quebrados de arroz e

investigar o efeito do processo de extrusão sob as propriedades físicas, químicas e funcionais da mistura.

REFERÊNCIAS

- ALASALVAR, C.; AL-FARSI, M.; QUANTICK, P. C.; SHAHIDI, F.; WIKTOROWICZ. Effect of chill storage and modified atmosphere packing (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. **Food Chemistry**, New York, v. 89, p. 76, 2005.
- ALVES, C. Q.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P.; BAHIA, M. V.; AGUIAR, R. M. Métodos para determinação de atividade antioxidante *in vitro* em substratos orgânicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 10, p. 2202-2210, 2010.
- AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S.; ARRIECHE, L. S.; VAZ ALVES, F. Produto alimentício elaborado com farinha pré-gelatinizada de grãos quebrados de arroz. **Alimentos e Nutrição**, Arararaquara, v.14, n.1, p. 35-42, 2003.
- AMARAL, L. I. V.; GASPAR, M.; COSTA, P. M. F.; AIDAR, M. P.; BUCKERIDGE, M. S. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. **Hoehnea**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 425-431, 2007.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 66, p. 232-240, 2007.
- ARAÚJO, C. A. C.; LEON, L. L. Biological activities of *Curcuma longa* L. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 5, p. 723-728, 2001.
- BERTOLINI, A. C. **Trends in starch applications**. Starches: Characterization, Properties and Applications. 1. ed. CRC Press, Florida, EE.UU (2010), pp. 1–20.
- BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. Introdução à química de alimentos. 3. ed. São Paulo: Varela, 2003. 238p.
- 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 Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p. 835-843, 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília, 10 jan. 2000.
- CAMPOS, L. M. A. S. LEIMANN, F. V.; PEDROSA, R.L; FERREIRA, S.R.S. Free radical scavenging of grape pomace extracts from Cabernet sauvignon (*Vitis vinifera*). **Bioresource Technology**, Tainan, v. 99, p.8413–8420, 2008.

- CAPRILES, V. D.; SOARES, R. A. M.; PINTO E. S.; MACHADO, M. E.; AREAS, J. A. G. Effect of fructans-based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 44, n. 10, p. 1895-1901, 2009.
- CARVALHO, A. V.; BASSINELO, P. Z.; MATIETO, R. A.; CARVALHO, R. N.; RIOS, A. O.; SECCADIO, L. L. Processamento e caracterização de snack extrudado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 72-83, 2012b.
- CARVALHO, A. V.; RIOS, A. O.; BASSINELLO, P. Z.; FERREIRA, T. F. Efeito dos parâmetros de extrusão termoplástica sobre as propriedades tecnológicas de farinhas pré-cozidas elaboradas com arroz e feijão. **Brazilian Food and Technology**, Campinas, v. 15, n. 4, p. 333-342, 2012a.
- CECÍLIO FILHO, A. B.; SOUZA, R. J.; BRAZ, L. T.; TAVARES, M. Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usos potenciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n.1, p.171-175, 2000.
- CERQUEIRA, F. M.; MEDEIROS, M. H. G.; AUGUSTO, O. Antioxidantes dietéticos: controvérsias e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, 2007.
- CHEN, D. Y.; SHIEN, J. H.; TILEY, L.; CHIOU, S. S.; WANG, S. Y.; CHANG, T. J.; LEE, Y. J.; CHAN, K. W.; HSU, W. L. Curcumin inhibits influenza virus infection and haemagglutination activity. **Food Chemistry**, Barking, v. 119, n. 4, p. 1346-1351, 2010.
- 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.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.
- EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. Sistemas de Produção, 3. Versão Eletrônica
Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/> >. Acesso em: 7 mar. 2014.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed. 2006. 602p.
- FERREIRA, F. D.; KEMMELMEIER, C.; ARROTÉIA, C. C.; COSTA, C. L.; ALLMANN, C. A.; JANEIRO, V.; FERREIRA, F. M. D.; MOSSINI, S. A. G.; SILVA, E. L.; ACHINSKI-JUNIOR, M. Inhibitory effect of the essential oil of *curcuma longa* L. and curcumin on aflatoxin production by *aspergillus flavus* link. **Food Chemistry**, Barking, v. 136, n. 2, p. 789-793, 2013.
- FRANCO, A. L. P.; OLIVEIRA, T. B.; FERRI, P. H.; BARA, T. F.; PAULA, J. R. Avaliação da composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Aloysia Gratissima*

(Gillies & Hook) Tronc. (Alfazema), *Ocimum Gratissimum* L. (Alfavaca-Cravo), *Curcuma Longa* L. (Açafrão). **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 4, n. 2, p. 06-10, 2007.

GORDON, A.; CRUZ, A. P. G.; CABRAL, L. M. C.; FREITAS, S. C.; TAXI, C. M. A. D.; DONANGELO, C. M.; MATTIETTO, R. A.; FRIEDRICH, M.; MATTA, V. M.; MARX, F. Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of açaí fruits (*Euterpe oleraceae* Mart.) during ripening. **Food Chemistry**, Barking, v. 133, n. 2, p. 256-263, 2012.

GOUNDER, D. K.; LINGAMALLU, J. Comparison of chemical composition and antioxidant potential of volatile oil from fresh, dried and cured turmeric (*Curcuma longa*) rhizomes. **Industrial Crops and Products**, North Dakota, v.38, n. 1. p. 124–131, 2012.

JACQUES, A. C.; ZAMBIAZI, R. C. Fitoquímicos em amora-preta (*Rubus* spp). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 245-260, 2011.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LOPES, T. J.; XAVIER, M. F.; QUADRI, M. G. N.; QUADRI, M. B. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n.3, p. 291-297, 2007.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência de 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.

MARTÍNEZ, M. M.; CALVIÑO, A.; ROSELL, C. M.; GÓMEZ, M. Effect of different extrusion treatments and particle size distribution on the physico-chemical properties of rice flour. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 7, n. 9, p. 2657–2665, 2014.

MELO, E.; MACIEL, M.; LIMA, V.; NASCIMENTO, R. Capacidade antioxidante de frutas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, São Paulo, v. 44, n.2, p. 193-201, 2008.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P. COBUCCI, T.; COSTA, C. A. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 186-192, 2011.

NASCIMENTO, K. O.; AUGUSTA, I. M.; RODRIGUES, N. R.; BARBOSA-JUNIOR, J. L.; BARBOSA, M. I. M. J. Características tecnológica das farinhas pré cozidas a partir do processo de extrusão termoplástica. **ACTA Amazônica**, Manaus, v. 9. n. 1, p. 37-47, 2014.

ORDÓÑEZ, J. A. Extrusão. **Tecnologia de alimentos**: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, p. 261-265.

ORTOLAN, F.; BRITES, L. T G.; MONTENEGRO, F. M. .; SCHMIELE, M.; STEEL C. J.; CLERICI, M. T. P. S.; ALMEIDA, E. L.; CHANG, Y. K. . Effect of extruded wheat flour and pre-gelatinized cassava starch on process and quality parameters of french-type bread elaborated from frozen dough. **Food Research International**, v. 76, n. 3, p. 402-409, 2015.

PÉRET-ALMEIDA, L.; NAGHETINI, C. C.; NUNAN, E. A.; JUNQUEIRA, R. G.; GLÓRIA, M. B. A. Atividade antimicrobiana *in vitro* do rizoma em pó, dos pigmentos curcuminóides e dos óleos e dos essenciais da *Curcuma longa* L. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 875-881, 2008.

PIMENTEL, B. M. V.; FRANCKI, M.; GOLLUCKE, B. P. **Alimentos funcionais introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Editora Varela, 100 p. 2005.

PIZZIOLO, V. R.; BRASILEIRO, B. G.; OLIVEIRA, T. T.; NAGEM, T. J. Plantas com possível atividade hipolipidêmica : uma revisão bibliográfica de livros editados no Brasil

entre 1998 e 2008. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 98-109, 2011.

PORTINHO, J. A.; ZIMMERMANN L. M.; BRUCK, M. R. Efeitos Benéficos do Açaí. **International Journal of Nutrology**, Catanduva, v.5, p. 15-20, 2012.

PRASAD, S.; AGGARWAL, B. B. D. Turmeric, the Golden Spice: Traditional Medicine to Modern Medicine. Herbal Medicine: Biomolecular e Aspectos Clínicos, CRC Press, Florida, EUA (2011) (segundo ed.). Versão Eletronica. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK92771/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2016.

REYNERSTON, K. A.; YANG, H.; JIANG, B.; BASILE, M. B.; KENNELLY, E. J. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, Barking, v. 109, n. 4, p. 883-890, 2008.

ROGEZ, H. **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: Ed. UFPA, 2000. 313 p.

SCARTEZZINI, P.; SPERONI, E. Review on some plants of indian traditional medicinal medicine with antioxidant. **Journal of Ethnopharmacology**, Limerick, v. 71, n.1-2, p. 23-43, 2000.

SCHAUSS, A.; WU, X.; PRIOR, R. L.; OU, B.; HUANG, D.; OWENS, J.; AGARWAL, A.; JENSEN, G. S.; HART, A.; SHANBROM, E. Antioxidant capacity and other bioactivities berry amazon freeze dried palm, *euterpe oleracea* mart. (Acai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54. n. 22, p. 8604-8610, 2006.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SILVA, P. A.; ASSIS, G. T.; CARVALHO, A. V.; SIMÕES, M. G. Desenvolvimento e caracterização de cereal matinal extrudado de mandioca enriquecido com concentrado proteico de soro de leite. **Brazilian Journal Food and Technology**, Campinas, v. 14, n. 4, p. 260-266, 2011.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R.; Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente alimentar. **Brazilian Journal of Food Science and Technology**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 190-199, 2009.

SINDHU, S.; CHEMPAKAM, B.; LEELA, N. K.; BHAI, R. S. Chemoprevention by essential oil of turmeric leaves (*Curcuma longa* L.) on the growth of *Aspergillus flavus* and aflatoxin production. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 49, n. 5, p. 1188–1192, 2011 .

SINGH, G.; KAPOOR, I. P. S.; SINGH, P.; HELUANI, C. S.; LAMPASONA.; CATALAN, C. A. N. Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric (*curcuma longa* linn). **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 48, n. 4. p. 1026-1031, 2010.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Avaliação sensorial de cereais matinais de castanha do Brasil com mandioca extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 950-955, 2006.

TAKEUCHI, K. P. SABADINI, E.; CUNHA, R. L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 78-85, 2005.

THOMAS-EAPEN, N. E. Tumeric: an intriguing spice with yellow medicinal properties. **Explore: The Journal of Science and Healing**. New York, v. 5, n. 2, p. 114-115, 2009.

TORO, A. G.; GIBERT, O.; BRIFFAZ, A.; RICCI, J.; DUFOUR, D.; TRAN, T.; BOHUON, P. Gelatinization starch and in vitro behavior digestibility after heat treatment: comparison banana pasta and a pulp piece. **Carbohydrate polymers**, Vieira, v. 147, n. 1, p. 426-435, 2016.

VERNAZA, M. G.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Passion fruit fiber content effect and moisture and extrusion temperature not functional organic breakfast cereal development. **Brazilian Journal of Food and Technology**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 145-154, 2009.

VIALTA, A.; REGO, R. A. **Brasil Food Trends 2020**. Campinas: ITAL, 2014. 389 P. Disponível em: <http://www.brazilfoodtrends.com.br/Brasil_Food_Trends/index.html>. Acesso em: 15 mai. 2014.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos Naturais Bioativos. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v. 2, n.1, p. 157-166, 2009.

WANG, L.; DUAN, W.; ZHOU, S.; QIAN, H.; ZHANG, H.; QI, X. Effects of extrusion conditions on the extrusion responses and the quality of brown rice pasta. **Food Chemistry**, Barking, v. 204, n. 1, p. 320-325, 2016.

WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. **Food and Function**, Cambridge, v. 4, n. 1, p. 1564–1580, 2013.

WONG, D. Y. S.; MUSGRAVE, I. F.; HARVEY, B. S.; SMID, S. D. Açaí (*euterpe oleraceae* mart.) Berry extract exerts neuroprotective effects against β -amyloid exposure in vitro. **Neuroscience Letters**, Amsterdam, v. 556, n. 1, p. 221-226, 2013.

YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon açai: chemistry and biological activities: a review. **Food Chemistry**, Barking, v. 179, n. 1, p. 137–151, 2015.

ZHOU, H.; BEEVERS, C. S.; HUANG, S. The targets of curcumin. **Current Drug Targets**, Hilversum, v. 12, n. 3, p. 332-347, 2011.

CAPÍTULO 2

QUALIDADE FÍSICA, QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE FARINHA DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ

RESUMO

Com o objetivo de melhor conhecer e explorar as potencialidades dos subprodutos da indústria arroseira foram determinadas as propriedades físicas e químicas da farinha de grãos quebrados de arroz. Três amostras foram avaliadas, e as análises realizadas em triplicata. A média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos valores obtidos foram calculados. A farinha de grãos quebrados de arroz apresentou grande quantidade de carboidratos ($89,81 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), responsável por seu alto valor energético ($357,16 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$), teores medianos de proteína ($8,18 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e fibra alimentar total ($2,13 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), e teores baixos de lipídeos ($1,07 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e cinzas ($0,94 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$). A temperatura de gelatinização da farinha foi de 55°C , 23°C , abaixo da temperatura de pasta observada no RVA ($85,56^{\circ}\text{C}$). Nas imagens obtidas por MEV, observou-se a estrutura heterogênea da farinha de grãos quebrados de arroz, com agregados compostos de grânulos de amido envolvidos pela matriz protéica. Os grãos quebrados de arroz apresentaram amido com padrão de raio- x tipo A, típico de cereais, e grau de cristalinidade de 17,19%. Os espectros de infravermelho evidenciaram a presença de bandas típicas de umidade, proteína, lipídeos e hidratos de carbono, assim como do complexo amilose-lipídio. A farinha de grãos quebrados de arroz reúne características físicas, químicas e microbiológicas extremamente vantajosas, com alto potencial como ingrediente alimentar de baixo custo.

Palavras-chave: subprodutos, propriedades térmicas, solubilidade, propriedades de pasta, composição centesimal.

2.1 INTRODUÇÃO

O consumo de arroz se dá principalmente na forma de grãos inteiros, podendo ser polido, parboilizado polido e integral. No beneficiamento o grão passa pela etapa de

polimento ao qual são gerados os grãos quebrados de arroz, constituindo um problema econômico para indústria arroseira (CARVALHO et al., 2011). Habitualmente, os grãos quebrados de arroz são empregados na alimentação animal, porém, se obtidos com boas práticas sanitárias de fabricação podem ser utilizados na alimentação humana. O aproveitamento dos grãos quebrados de arroz na forma de farinha pode gerar lucro significativo para as empresas beneficiadoras, minimizando o impacto ambiental (SOARES JÚNIOR et al., 2011; TAVARES et al., 2012).

A farinha de grãos quebrados de arroz pode ser explorada de forma eficiente pela indústria de alimentos, devido seu alto teor de amido facilmente digerível, composição centesimal similar a do grão inteiro, baixos níveis de sódio, sabor pouco pronunciado, que não interfere no sabor na maioria dos alimentos, características não alergênicas, atóxico para portadores de doença celíaca, podendo ser utilizado na elaboração de produtos sem glúten (ASHOGBON; AKINTAYO, 2012).

Aplicações como, biscoitos, filmes biodegradáveis, pães, *snacks*, cereais matinais, farinhas pré-gelatinizadas, produtos hipoalergênicos, extratos hidrossolúveis, formulações infantis, entre outras podem agregar valor a farinha de grãos quebrados de arroz (SOARES JUNIOR et al., 2010). Para ampliar as aplicações da farinha de grãos quebrados de arroz no mercado de alimentícios é necessário o conhecimento aprofundado de suas propriedades físicas, químicas e microbiológicas, a fim de melhor controlar o processo, visto que a maioria dos produtos a base de farinha de grãos quebrados de arroz passam por processamento térmico (FALADE; CRISTHOPHER, 2015). O objetivo deste trabalho foi determinar as características físicas, químicas, térmicas, estruturais e microbiológicas da farinha de grãos quebrados de arroz.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os grãos quebrados de arroz foram doados pela indústria de beneficiamento de arroz Cristal Alimentos, situada em Aparecida de Goiânia-GO, Brasil. Os grãos quebrados foram moídos em moinho de rotor tipo ciclone (Tecnal, TE65I/2, Piracicaba, Brasil). A farinha de arroz passou por peneira com orifícios de 0,25 mm de diâmetro, foi colocada em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD), e armazenada em freezer a -18°C, até a realização das análises.

2.2.1 Granulometria

O tamanho das partículas foi determinado em um granulômetro (Bertel, 4819, Caieiras, Brasil) segundo metodologia estabelecida por Zanotto e Bellaver (1996). Amostra de 100 g de grãos quebrados de arroz foi peneirada durante 10 min em um conjunto de peneiras (com diâmetro dos orifícios de 0,841, 0,250, 0,149, 0,105, 0,074 mm). As quantidades retidas em cada peneira e na base foram pesadas e expressas em porcentagem. A partir da porcentagem de amostra retida foi determinado o índice de uniformidade (IU), módulo de finura (MF) e o diâmetro geométrico médio das partículas (DGM).

2.2.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Após desidratação a vácuo, a amostra foi colocada em suportes de alumínio (stubs) e recoberta com uma película de ouro no aparelho e observados no Microscópio Eletrônico–ME de Varredura (Jeol, JSM – 6610, São Paulo, Brasil). As micrografias de superfície foram realizadas em aumentos de ordem de 5000x, 800x e 300x.

2.2.3 Cor

Os parâmetros instrumentais de cor foram analisados através de colorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA). A calibração foi efetuada em superfície de porcelana branca, a fim de se obter um padrão, em seguida foram realizadas as leituras dos parâmetros: luminosidade (zero = preto e 100 = branco), coordenadas de cromaticidade a^* (-80 até zero = verde, e zero ao +100 = vermelho) e b^* (-100 até zero = azul, do zero ao + 70 = amarelo). A partir das leituras dos parâmetros a^* e b^* , foram calculados a croma (saturação da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz), utilizando as equações 1 e 2. As amostras foram colocadas em placas de petri.

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

Equação 1

$$\text{Hue} = \text{Tang}^{-1} (b^*/a)$$

Equação 2

Nas quais:

C^* = cromaticidade;

H = ângulo Hue;

$\tan^{-1}$ - = arco tangente;

a^* é a coordenada de cromaticidade entre o verde e o vermelho;

b^* é a coordenada de cromaticidade entre o azul e o amarelo.

2.2.4 Difração de raio-x e cristalinidade relativa

O padrão de difração de raio-X foi obtido com um difratômetro de bancada (Arl-Zeiss, URD6, Jena, Alemanha), de acordo com a metodologia reportada por Weber, Collares-Queiroz e Chang (2009). A amostra foi colocada em um porta-amostra situado num plano a um ângulo θ de 5° da fonte de raio-X (conhecido como ângulo de Bragg). A faixa de medição foi de 5° a 40° , com uma velocidade de $0,45^\circ \text{ min}^{-1}$, operando a 35 kV e 15 mA, com radiação incidente $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ de Cu- $k\alpha$. Os difratogramas foram obtidos num ângulo de 5° a 40° na escala de 2θ . A cristalinidade relativa foi calculada baseando-se na relação entre a área dos picos e área total dos difractogramas, conforme método descrito por Nara e Komiya (1983), utilizando o aplicativo Origin versão 7.5 (MicrocalInc, Northampton, EUA).

2.2.5 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

As análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas utilizando-se pastilhas de brometo de potássio (KBr), em e o equipamento (Bomem Hartmann & Braun, MB 102, Quebec, California). As condições de operação foram estabelecidas na região $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$, com 32 varreduras e resolução de 2 cm^{-1} . Para o preparo das pastilhas, aproximadamente 1mg de cada amostra foram misturados com 100 mg de KBr, sendo essa mistura, comprimida entre dois pastilhadores sob alta pressão (de aproximadamente oito toneladas) até a formação de uma pastilha translúcida e sem deformações.

2.2.6 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas foram determinadas utilizando um calorímetro diferencial de varredura (*TA Instruments, Q20, New Castle, UK*), baseando-se na metodologia descrita por Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009). Amostras de 2 mg (b.s) foram pesadas em porta amostras de alumínio, próprios para o equipamento DSC. Água destilada (6µL) foi adicionada, e os porta amostras selados em prensa específica. Em seguida, os mesmos foram mantidos por 12 h a temperatura ambiente, para uniformizar a distribuição da água. A análise foi realizada em uma etapa, onde a amostra foi aquecida de 35 a 150°C, com uma taxa de 10°C min⁻¹. Um porta-amostra de alumínio vazio foi utilizado como referência. As temperaturas de gelatinização (inicial, pico e final), a variação de entalpia (ΔH) durante aquecimento foram determinadas com auxílio do aplicativo TA Universal Analysis (*TA Instruments, New Castle, UK*).

2.2.7 Absorção e solubilidade em água e absorção de óleo

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado segundo Anderson et al. (1969). A amostra de 2,5 g foi pesada em tubos de centrifuga, previamente tarados, e adicionados de 30 mL de água destilada. O tudo foi agitado em banho maria por 30 min em temperatura de 25°C, e centrifugado a 50 Hz, por 15 min em centrífuga (*Best Etetronics, TG-WS, Xangai, China*). O sobrenadante foi retirado cuidadosamente com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10mL, permanecendo apenas o precipitado formado no tubo. O valor de IAA foi calculado utilizando-se a equação 3, e o resultado expresso em g de precipitado por g de matéria seca.

O índice de solubilidade em água (ISA) foi calculado pela relação entre a massa do resíduo seco do sobrenadante (resíduo da evaporação) e da amostra, conforme equação 4. Para a determinação do índice de absorção de óleo (IAO) também foi utilizado a metodologia proposta por Anderson et al. (1969) adaptada, pois a água foi substituída pelo óleo de soja. Após a centrifugação, o liquido sobrenadante de cada amostra foi descartado, deixando-se os tubos ligeiramente invertidos durante 1 min. O IAO foi obtido pela relação entre a massa do resíduo centrifugado pela amostra em base seca (Equação 5).

$$IAA = \frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso da amostra(bs)}} \quad \text{Equação 3}$$

$$ISA = \left\{ \left[\frac{PRE}{PA} \right] 3 \right\} 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$IAO = \frac{PRC}{PA} \quad \text{Equação 5}$$

Nas quais

IAA= índice de absorção em água (g precipitado.g de materia seca)

ISA= índice de absorção de água (gg⁻¹);

PRE= massa do resíduo da evaporação (g);

IAO= índice de absorção em óleo (g precipitado.g de materia seca);

PRC= massa do resíduo da centrifugação (g);

PA= massa da amostra (g) (base seca).

2.2.8 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram obtidas em equipamento Rapid Visco Analyser (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia) na concentração de 3,5 g por 25 mL de água destilada. Para o cálculo da concentração foram efetuadas correções na quantidade de amostra e na quantidade de água adicionada de acordo com a tabela fornecida pelo fabricante. A programação “*Flour*” foi utilizada de acordo com a metodologia 162 proposta pela International Association for Cereal Science and Technology (ICC, 1995). A suspensão formada pela farinha e a água foi mantida a 50°C por 3 min e 45 s, para investigar a viscosidade da farinha à baixa temperatura, aquecida a 95°C sob velocidade constante de 6°C min⁻¹, mantida nessa temperatura por 3 min e 30 s, resfriada a 50°C durante 4min e 10s sob a mesma velocidade, e mantida a 50°C por mais 1min e 25 s, totalizando 12 min e 30 s de marcha analítica. As características de pasta avaliadas foram temperatura de pasta (TP), viscosidade pasta (PV), viscosidade final (VF), viscosidade de quebra (QV) ou *breakdown* e tendência à retrogradação (TR) ou *setback*, expressos na unidade do aparelho, rapid visco units (RVU).

2.2.9 Atividade de água, acidez total titulável e pH

A atividade de água (Aa) foi determinada no AquaLab digital (Braseq, CX-2-T, Jarinu, Brasil), acoplado a um banho termostático controlado, na temperatura de 25°C. Para a medida do pH foi utilizado o potenciômetro (Tecnal, TEC-51, Piracicaba, Brasil), previamente calibrado com solução tampão pH 4 e pH 8, com inserção do eletrôdo diretamente em 5 g de farinha diluída em 100 mL de água. A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N. As análises foram realizadas de acordo com as normas estabelecidas pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

2.2.10 Composição centesimal

A umidade foi quantificada por dessecação a 105°C em estufa com circulação de ar até peso constante; as cinzas por pesagem após incineração a 550°C em forno mufla; o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6,25 resultou no teor de proteína bruta; e os lipídeos por extração com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra alimentar total foi utilizada amostra desengordurada da extração por Soxlet, seguindo método enzimico-gravimétrico. O teor de carboidratos foi calculado pela diferença entre 100 e a soma das porcentagens de água, proteína, lipídeos totais e cinzas. O valor energético (kcal) calculado multiplicando o peso/g de carboidratos e proteínas por 4 e o peso/g dos lipídeos por 9. Todos conforme as recomendações da AOAC (2012).

2.2.11 Açúcares totais, redutores e não redutores

Os açúcares redutores (AR) e os açúcares redutores totais (ART) foram determinados segundo metodologia de Miller (1959), que se baseia na redução do ácido 3,5 – dinitro salicílico a ácido 3-amino–5–nitro salicílico, com a leitura realizada em espectrofotômetro (Bel Photonic, SP2000UV, Piracicaba, Brasil), usando solução de glicose como padrão.

2.2.12 Análise microbiológica

Análises de *Coliformes* termotolerantes a 45°C, bolores e leveduras, *Bacillus cereus* e *Salmonella* foram realizadas. Os resultados obtidos foram avaliados segundo os parâmetros estabelecidos pela resolução RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001). As técnicas utilizadas seguiram as normas da Food and Drug Administration (FDA, 2002).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Características físicas

2.3.1.1 Granulometria

A farinha de grãos quebrados de arroz ficou retida em maior porcentagem na peneira de 0,842 mm (94,83%), seguida pela de 0,250 mm (4,8 %), apresentando elevada homogeneidade, com módulo de finura de 4,93. Ademais, a farinha de GQA apresentou 94,3% de partículas médias e 5,7% de partículas finas com diâmetro médio das partículas de 3,18 mm. A uniformidade de um produto é de fundamental importância, visto que pode afetar diretamente sua processabilidade e as reações químicas durante o processamento, pois partículas de diferentes tamanhos não absorvem a água de forma homogênea resultando em cozimento desuniforme da massa (SCHEUER, 2011). Ahmed, Al-Jassar e Thomas (2015), analisando a composição centesimal de três cultivares de arroz em diferentes tamanhos de partículas, observaram com clareza que o tamanho das partículas influenciou significativamente a composição centesimal de farinhas de arroz, incluindo proteína, gordura, cinzas, e fibra alimentar.

2.3.1.2 Microscopia eletrônica de varredura

A farinha de grãos quebrados de arroz possui estrutura heterogênea, rica em material de aspecto esponjoso (Figura 2.1 A). Grânulos de amido foram identificados em estado original (Figura 2.1 B), isolados ou em grupos aglomerados (Figura 2.1 C). A presença

de material não amiláceo, que pode ser proteína, aderida aos grânulos de amido, formando uma matriz, também foi constatada (Figuras 2.1 A, B, C).

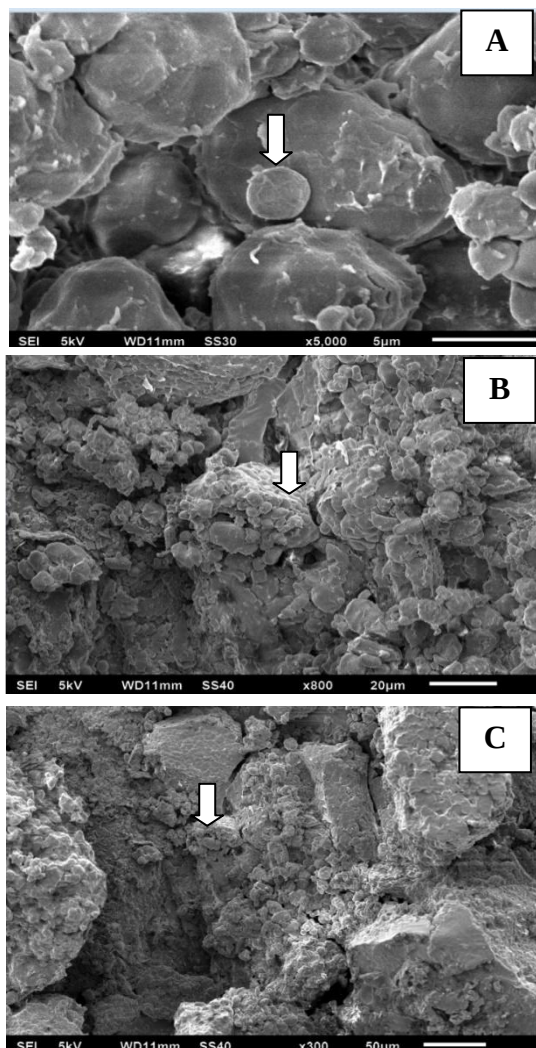


Figura 2.1 Micrografia de farinha de grãos quebrados de arroz em microscópio eletrônico de varredura sob aumento de (A) 5000x (B) 800x (C) 300x.

2.3.1.3 Cor

O valor de luminosidade (94,6) da farinha de grãos quebrados de arroz mostrou-se elevado, indicando que a amostra possui coloração com tendência ao branco. Pois, o L^* assume valores que variam entre preto (0) e branco (100). Este parâmetro é avaliado de forma que possa estabelecer uma escala de cinza, definindo a claridade da cor, ou seja, maior refletância da luz (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009). Kim e Shin (2014) obtiveram valores similares (93,62 a 94,99) ao reportado nesse estudo para farinha de grãos quebrados

de arroz. A cor é um parâmetro de grande importância para indústria de alimentos, pois está diretamente relacionada com a qualidade do produto. Uma vez que a matéria-prima será utilizada para o desenvolvimento de novos produtos, esta deve apresentar uma cor atrativa, capaz de influenciar a aceitação do produto alimentício (PRADO; GODOY, 2003).

A brancura da farinha de arroz depende da genética, das práticas agrícolas empregadas durante seu desenvolvimento, e principalmente da taxa de remoção do farelo durante as etapas de beneficiamento. Cada lote de arroz tem um grau de polimento específico e, por isso, valores de luminosidade diferenciados (ROY et al., 2008).

A farinha de grãos quebrados de arroz apresentou tom amarelado (b^* positivo 10,28) e valor de croma a^* próximo à zero (- 0,98), mostrando que as amostras não apresentam pigmentação verde ou vermelha, e sim tendendo a neutralidade (FEITOSA et al., 2013). Pois, o croma a^* assume valores positivos para cores avermelhadas e valores negativos para cores esverdeadas, enquanto que o b^* toma valores positivos para cores amareladas e valores negativos para azuladas no espectro de luz. Barbosa et al. (2006) obteve valores diferentes aos reportados no presente estudo (croma a^* 0,05 e croma b^* 4,7), porém, com a mesma tendência à neutralidade em relação a croma a^* , e ao amarelo em relação a croma b^* .

A farinha de grãos quebrados de arroz obteve valores médios de cromaticidade e ângulo Hue de 10,14 e 95,43°, respectivamente. O ângulo Hue descreve a tonalidade da cor e é expresso em graus, quanto mais próximo do zero maior a tendência ao vermelho puro, 90° corresponde ao amarelo puro, 180° ao verde puro e 270° ao azul puro.

O Croma C^* representa a saturação da cor, ou seja, descreve o brilho da cor. Quanto mais alto valor do croma mais viva a cor é observada (PATHARE et al., 2013). Desta forma, a farinha de grãos quebrados de arroz possui tom amarelado e pouco intenso. Polesi et al. (2014), em sua pesquisa sobre caracterização físico-química, funcional e nutricional de duas cultivares brasileiras de arroz obtiveram 9,5 para o Croma e 95,4° para o ângulo Hue na cultivar IAC 202, respectivamente, semelhante aos valores obtidos neste estudo.

2.3.1.4 Difração de raio-X e cristalinidade relativa

A farinha de grãos quebrados de arroz apresentou picos de difração em 15,2°, 17,8°, 18° e 23,1° em 2 θ , indicando que o amido presente na farinha é do tipo A. A farinha também apresentou um pico adicional em 20°, que pode ser atribuído a associação da amilose dos grânulos de amido com lipídeos (ácidos graxos) (Figura 2.2). Esses dados são

semelhantes aos obtidos na literatura (LI et al., 2008; LAMBERTS; GOMAND; DERYCKE; DELCUR, 2009). O padrão de difração denominado tipo A, é aquele no qual o amido presente na farinha é constituído por duplas hélices formadas por amilose e amilopectina, ao qual a amilopectina apresenta-se em um empacotamento mais denso e com maior proporção de cadeia curta que os amidos de padrão do tipo B, sendo comumente encontrados em amidos extraídos de cereais (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). A cristalinidade relativa (C_{rel}) para farinha de grãos quebrados de arroz foi de 17,19 %. Mir e Bosco (2014) obtiveram valores na faixa entre 15,16 e 17,44% de C_{rel} para farinha de sete cultivares de arroz indiano. Farinhas com padrão de cristalinidade tipo A como a do presente estudo, são constituídas por amido que apresentam moléculas de amilose distanciadas das moléculas de amilopectina. Portanto, apresentam baixa cristalinidade e maior suscetibilidade a enzimas amilolíticas. O polimorfismo dos padrões tipo A, B e C é influenciado pelas condições ambientais, o tamanho das cadeias de glicose, a concentração de amido na solução e a presença de outros solventes e moléculas orgânicas (JAYAKODY, 2001). O grau de cristalinidade correlaciona-se negativamente com o grau de amilose dos amidos presente nas farinhas, ou seja, quanto maior o teor de amilose do amido, menor sua cristalinidade (YONEMOTO; CALORI-DOMINGUES, FRANCO, 2007).

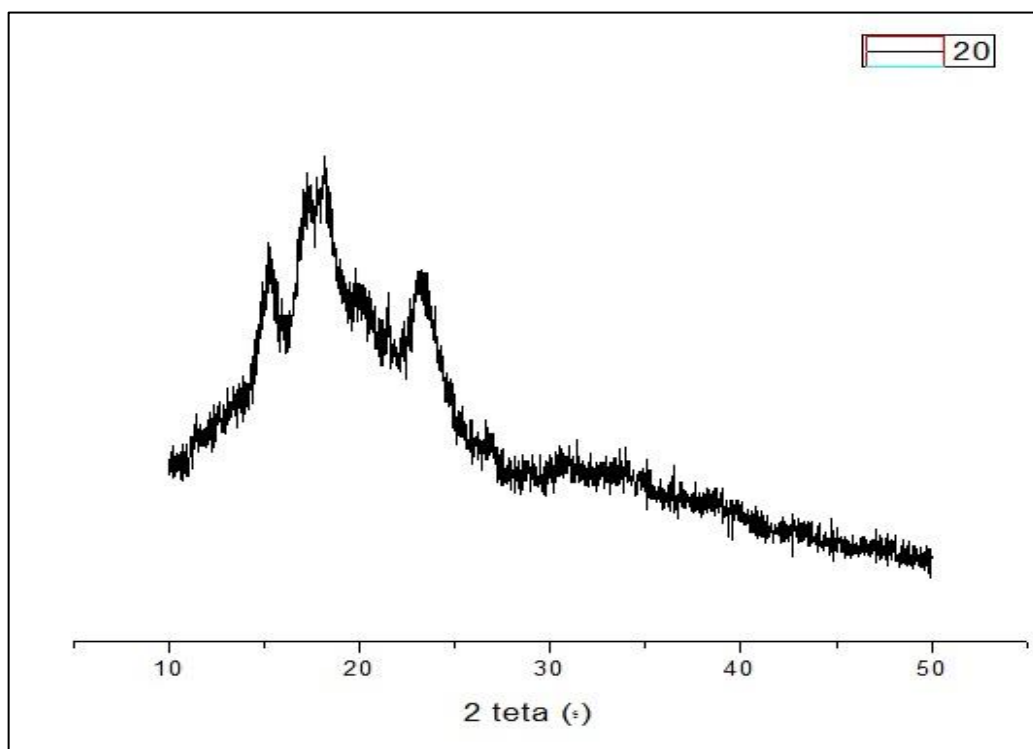


Figura 2.2. Difratograma de Raio-X de farinha de grãos quebrados de arroz.

2.3.1.5 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

Os espectros do infravermelho evidenciaram que a farinha de grãos quebrados de arroz apresentou uma mistura muito complexa de componentes, aparecendo evidências de diversos grupos funcionais, cujos sinais analíticos apresentam-se sobrepostos. Isso dificultou a atribuição de uma determinada banda a uma única função química exclusivamente (Figura 2.3). Os grupos funcionais encontrados foram associados, principalmente, a presença de umidade, proteína, lipídeos e hidratos de carbono. Bandas características foram identificadas na região entre comprimentos de onda de $2800,68\text{ cm}^{-1}$ a $3012,88\text{ cm}^{-1}$, e estão relacionadas à deformação axial dos grupos metílicos (C-H de CH_2 e CH_3), caracterizando, provavelmente, cadeias de ácidos graxos presentes na farinha ($1,07\text{ g } 100\text{ g}^{-1}$).

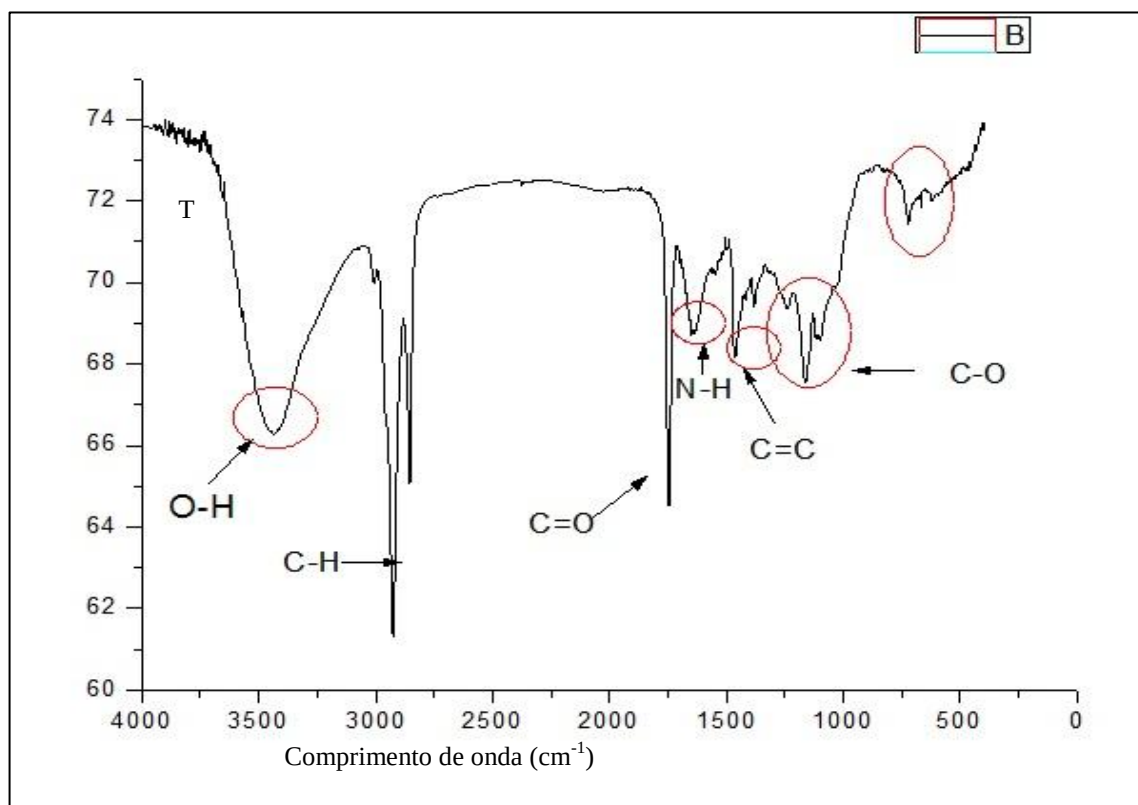


Figura 2.3. Espectro de absorção na região de infravermelho da farinha de grãos quebrados de arroz.

Banda no comprimento de onda $1652,06\text{ cm}^{-1}$ foi relacionada ao alongamento vibracional do grupo amina (N-H) para proteínas com estrutura secundária de α -hélice, esses

componentes estão presentes na farinha de arroz em quantidades expressivas (8,18 g 100 g⁻¹) (SHENK; WORKMAN; WESTERHAUS, 2007).

As bandas encontradas entre 1100 cm⁻¹ a 900 cm⁻¹ foram associadas grupo carbonila (C=O) das moléculas de amilopectina e amilose, podendo ser o grupo funcional deglicopirranose, ligação glicosídica α 1-4 que estão presente em sua maioria no grânulo de amido presente na farinha de arroz (89,81 g 100 g⁻¹) (MIRANDA; CARVALHO, 2011). As bandas observadas em torno de 1048,96 cm⁻¹, a 1204 cm⁻¹ também foram atribuídos à estrutura cristalina do amido por outros autores, e muitos deles utilizam essas bandas como medida de cristalinidade (BREWER; WETZEL, 2012; WARREN et al., 2013). As bandas encontradas na faixa de 500 a 800 cm⁻¹ foram atribuídas ao modo de estiramento do disulfeto (-S-S-) relacionado a proteínas (TATTINI-JUNIOR et al., 2006). Em comprimento de onda de 1741,40 cm⁻¹ apareceu uma banda de estiramento do grupo C=O assinalando presença de compostos carbonilados, além do modo vibracional de deformação axial de C-O em 1236,25 cm⁻¹. As regiões nas gamas de 1024 cm⁻¹ a 1150 cm⁻¹ foram associadas ao complexo amilose-lipídeo presente no grão de arroz. A grande banda de absorção na região entre 3028 cm⁻¹ e 3664 cm⁻¹ foram atribuídas ao estiramento e a deformação angular de ligações do grupo hidroxila (O-H) da molécula de água (COZZOLINO; ROUMELIOTIS; EGLINTON, 2014). Essa banda tem uma grande sensibilidade à temperatura, podendo passar por mudanças dramáticas durante o aquecimento devido à sensibilidade de hidrogênios ligados. Por isso essa banda é muito utilizada para sondar interações de pontes de hidrogênio entre água e polímeros em sistemas aquosos (ZHANG; YU, 2012).

2.3.1.6 Propriedades térmicas

A gelatinização da farinha de grãos quebrados de arroz começou a temperatura de 55,23 °C ($\pm$ 1,38), chegou ao pico em 66,66°C ($\pm$ 0,32), e terminou a 78,13°C ($\pm$ 0,7) (Figura 2.4). O valor obtido para temperatura inicial de gelatinização (T_i) está dentro da faixa observada por Falade e Christopher (2015), que analisaram as propriedades térmicas de farinhas e amidos de seis cultivares de arroz nigerianos, e obtiveram valores entre 50,80°C a 68,80 °C. A temperatura de pico (T_p) de gelatinização da farinha de grãos quebrados de arroz ficou abaixo dos valores obtidos por esses autores (78,70 a 93,70°C).

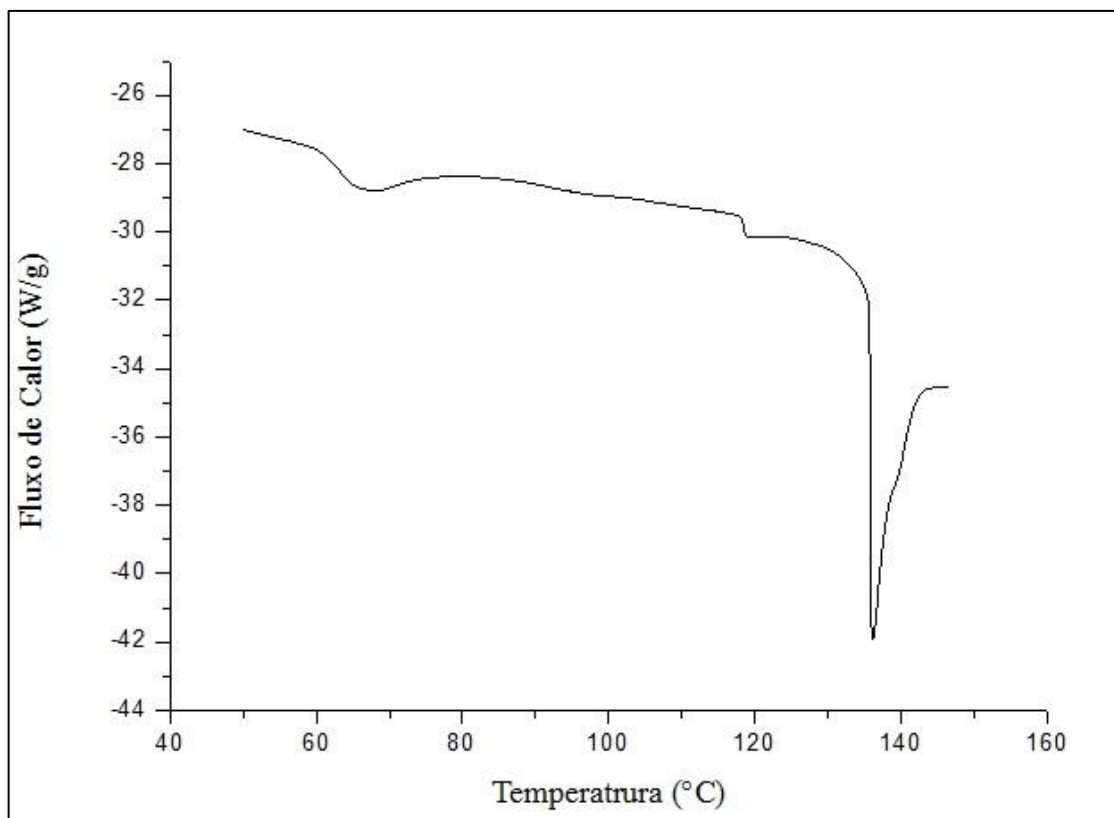


Figura 2.4. Propriedades térmicas da farinha de grãos quebrados de arroz.

No entanto, a temperatura de gelatinização ficou dentro dos valores observados por Wani et al. (2013), que obtiveram para amido de três diferentes cultivares de arroz uma faixa entre 65°C e 71,5°C. Segundo esses autores, a diversidade dos cultivares de arroz é refletida nas propriedades térmicas. A temperatura inicial de formação de pasta da farinha de grãos quebrados de arroz determinada no DSC ($55,23^{\circ}\text{C} \pm 1,38^{\circ}\text{C}$) apresentou valor menor em relação à temperatura de pasta observada no RVA ($85,56^{\circ}\text{C} \pm 0,02$). A mesma observação foi feita por Ascherie et al. (2010), em amido de lírio do brejo. A temperatura de pasta obtida pelo RVA apresentou-se mais elevada, provavelmente, devido à menor sensibilidade de detectar os primeiros acréscimos na viscosidade de pasta, diferentemente da temperatura de gelatinização inicial obtida por DSC, que é detectada quando os primeiros grânulos começam a se desorganizar.

A entalpia de gelatinização (ΔH_{gel}) fornece dados referentes à energia necessária para que ocorra o intumescimento das partículas pela absorção de água (WEBER; COLLARES-QUEIROZ; CHAN, 2009). A ΔH_{gel} para farinha de grãos quebrados de arroz foi de $8,67 \text{ J g}^{-1} (\pm 0,35)$, e esses valores foram menores do que os obtidos com o amido de arroz isolado ($10\text{-}15 \text{ J g}^{-1}$)(HAGENIMANA; PU; DING, 2005). Tal resultado demonstra que a

farinha de GQA necessita de menor energia para que ocorra o entumescimento das partículas pela absorção de água e elevação da temperatura (gelatinização). A farinha de GQA apresentou transição vítrea (T_g) a $63,66^\circ \text{C} \pm 0,83$ indicando a temperatura ideal de armazenamento dessa farinha, visto que acima desta temperatura a farinha apresenta um comportamento viscoelástico ou elástico (LEITE; MURR; PARK, 2005).

A curva de DSC da farinha mostrou um segundo pico (Figura 2.4) com uma pequena transição vítrea temperatura de $135,41^\circ \text{C}$, valor dentro da faixa encontrada para farinhas de arroz por Ahmed, Al-Jassar e Thomas (2015), que também apresentaram um segundo pico entre 99°C e 137°C . Como a farinha de arroz possui quantidades expressivas de amido e presença de fosfolipídeos, acredita-se que essa temperatura de transição está associada a processos de dissociação de complexos amilose-lipídeos (TORRES; MOREIRA; CHENLO; MOREL, 2013). Quanto maior o ΔH_{gel} maior o grau de organização ou estabilidade dos cristais. Além disso, um valor elevado de ΔH_{gel} sugere que as duplas hélices que se desfazem durante a gelatinização estão fortemente associadas dentro do grânulo de amido exigindo, portanto, uma maior energia para o rompimento das moléculas (WHANG et al., 2010).

2.3.1.7 Absorção e solubilidade em água, e absorção de óleo

As farinhas cruas, geralmente, apresentam baixa capacidade de absorção de água e solubilidade em água em temperatura ambiente, como pode ser observado no presente estudo (Tabela 2.1). Isso se dá principalmente pela estrutura cristalina do amido nativo que limita a solubilidade e absorção dos grânulos em água (DENARDINI; SILVA, 2009). A partir de 60°C , o IAA e ISA apresentaram variações representativas, sugerindo o início da formação de pasta. O que foi confirmado pelo perfil viscoamilográfico (Figura 2.2), que marcou a temperatura de pasta da farinha de GQA em $85,53^\circ \text{C}$. Esse aumento na absorção de água se dá devido à perda da cristalinidade dos grânulos de amido com o aumento da temperatura, resultando no inchamento dos mesmos, devido ao aumento da área superficial e consequentemente do seu volume. Já o aumento do índice de solubilidade a maiores temperaturas (Tabela 2.1) se dá pela quebra das moléculas de amilose em alta temperatura, além da danificação dos grânulos de amido durante o processo de moagem da farinha (MOURA; ASCHERI et al., 2010).

Tabela 2.1. Índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e índice de absorção de óleo de grãos quebrados de arroz.

Temperatura (°C)	IAA ¹	IAO ²	ISA ³
25	1,91 ^d ± 0,003	1,72 ± 0,06	2,05 ^c ± 0,03
60	2,56 ^c ± 0,11	-	1,96 ^c ± 0,10
70	5,76 ^a ± 0,26	-	3,41 ^{ab} ± 0,08
80	5,46 ^b ± 0,23	-	3,25 ^b ± 0,16
90	5,51 ^{ab} ± 0,25	-	3,66 ^a ± 0,17

¹Valores correspondem à média ± desvio-padrão (g gel g⁻¹ de matéria seca);

²Valores correspondem à média ± desvio-padrão (g g⁻¹ de matéria seca);

³Valores correspondem à média ± desvio-padrão (%).

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente ao nível de 5%.

O valor de IAA a temperatura ambiente da farinha de grãos quebrados de arroz foi 6,82% menor do valor reportado por Jongsutjarittam e Charoenrein (2014) (2,05 g g⁻¹), 26,25% menor que o encontrado por Dors, Castiglioni e Augusto-Ruiz (2006) (2,59 g g⁻¹), 32,74% menor que o de Barbosa et al. (2006) (2,84g g⁻¹) e 32,26% menor que o de Tavares et al. (2012) (2,82 g g⁻¹). Diferenças no índice de absorção de água podem se dá em função de cultivares diferentes, pois cada cultivar tem estrutura granular do amido diferente, dando origem a diferentes forças associativas na estrutura do grânulo para formar ligações de hidrogênio e covalentes entre as cadeias de amido e, conseqüentemente, diferentes graus de disponibilidade de locais que podem se ligar a água (ZULUAGA; BAENA; MORA; PONCED'LEON, 2007).

Segundo Vidal et al. (2007) quanto maior o teor de proteína e lipídeos na amostra maior a dificuldade de absorção de água pelos grânulos de amido. Além disso, segundo Ahmed, Al - Jassar e Thomas (2015), o tamanho das partículas de farinha influencia diretamente nos valores do IAA e ISA. Esses autores compararam o efeito do tamanho de partícula na análise centesimal, propriedades reológicas e térmicas de duas farinhas comerciais de arroz cultivadas na Índia e no Egito, e encontraram valores entre 1,35 a 1,97 g gel (g ms.)⁻¹ para IAA e 2,67 a 3,40% para ISA, valores próximos aos encontrados no presente estudo. No que diz respeito à utilização de matérias-primas para o desenvolvimento de novos produtos o IAA pode influenciar na eficiência de coesão do produto, portanto, quanto maior a capacidade de absorção de água maior a capacidade de coesão do produto a ser elaborado (ETUDAYE; NWABUEZE; SANNI, 2009).

O IAO consiste na capacidade de sítios apolares das cadeias de proteínas atraírem os ácidos graxos presentes nos triglicerídeos do óleo, denotando a capacidade emulsificante da farinha para uso em formulações em produtos alimentícios. O IAO, portanto, vai depender dos grupos lipofílicos expostos das proteínas presentes na farinha de grãos quebrados de arroz, pois cadeias laterais apolares de aminoácidos da proteína possuem afinidade com cadeias apolares dos lipídeos contribuindo para o aumento do IAO (RAVI; SUSELAMMA, 2005; SEIBEL; BELEIA, 2009).

Mancebo, Picon e Gomes (2015) obtiveram $1,65 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de IAO para farinha de arroz fino, valor ligeiramente inferior ao encontrado nesta pesquisa (Tabela 2.1). O baixo índice de absorção de óleo em farinhas pode ser desejável para o desenvolvimento de produtos fritos com baixa absorção de óleo. Já farinhas com alto IAO podem ser utilizadas para aumentar a sensação de sabor em produtos alimentícios, já que o óleo absorvido pela farinha age como retentor de sabor (JITNGARMKUSOL; HONGSUWANKUL; TANANUWONG, 2008).

2.3.1.8 Propriedades de pasta

Durante a fase de aquecimento da suspensão aquosa de farinha de grãos quebrados de arroz verificou-se um aumento da viscosidade da pasta (Figura 2.5), devido ao inchamento dos grânulos de amido e a lixiviação das moléculas de amilose destes grânulos (ASMEDA; NORZIAH, 2016).

O inchamento das partículas de farinhas durante o cozimento é regido não apenas pelo amido, mais também por outros componentes, como proteínas e polissacarídeos não amiláceos, cujas estruturas podem ser afetadas pelo processo de moagem (HASJIM; LI; DHITAL, 2013). Assim, para farinha de grãos quebrados de arroz não existe apenas a influência do amido, mas também de outros componentes, como da proteína e lipídeo, por formar o complexo amilose-lipídeo, limitando o inchamento dos grânulos, o que afeta de forma independente as propriedades de pasta. O complexo amilose-lipídeo, em especial, influencia diretamente a gelatinização e retrogradação do amido devido à formação de uma estrutura parcialmente cristalina. Este complexo compete com a cristalização da amilose, deixando menor quantidade deste polissacarídeo livre para a formação de pontes de hidrogênio com outras cadeias de amilose impedindo o inchamento do grânulo (LOBO; SILVA, 2003).

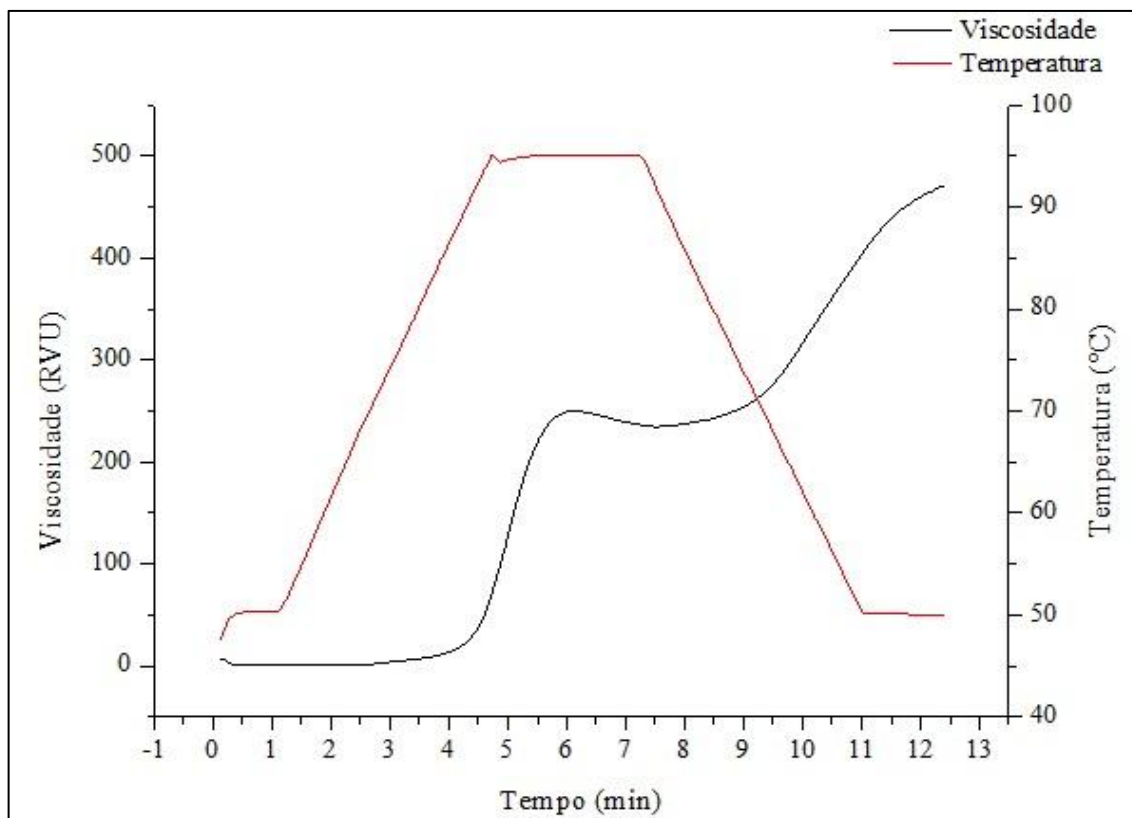


Figura 2.5. Perfil viscoamilográfico da farinha de grãos quebrados de arroz.

A temperatura de pasta obtida da farinha de grãos quebrados de arroz ($85,56^{\circ}\text{C} \pm 0,02$) foi menor do que o reportado por Ahmed, Al-Jassar e Thomas (2015) ($93,38^{\circ}\text{C}$), dentro da faixa dos resultados obtidos por Li et al. (2008) ($73,1$ a $91,1^{\circ}\text{C}$), e similar ao de Asmeda, Noolaila e Norziah (2016) (TP $84,45^{\circ}\text{C}$). A alta temperatura de pasta obtida para os grãos quebrados de arroz (Tabela 2.5) indica a resistência a gelatinização dessa farinha, devido a estabilidade estrutural dos grânulos (GALDEANO et al., 2009). Segundo Kaushal, Kumar e Sharma, (2012) altos valores de temperatura de pasta podem estar relacionados à presença de amido altamente resistente à ruptura ao inchaço. O viscosidade de pico ($247 \text{ RVU} \pm 1,54$) da farinha de grãos quebrados de arroz foi menor que os reportados por Kim e Shim (2014) entre $305,6 \text{ RVU}$ e $320,3 \text{ RVU}$ para farinha de arroz, e dentro da faixa ($197,92 - 331,70 \text{ RVU}$) encontrada por Falade e Christopher (2015), que analisaram as propriedades de seis cultivares de farinha de arroz da Nigéria.

O alto valor de viscosidade final ($485,61 \text{ RVU} \pm 1,68$) da farinha de grãos quebrados de arroz indicou que ela possui tendência a retrogradação (Setback) após o arrefecimento, devido à recristalização de moléculas lixiviadas de amilose (DERMADIN,

SILVA, 2009). Essa tendencia a retrogradação (Setback) da farinha de GQA ($249,69 \text{ RVU} \pm 1,06$) está relacionada à capacidade da amilose presente no amido de se reorganizar durante o resfriamento da pasta, formando um gel (LIMBERGER et al., 2008). Dessa forma, pelo resultado obtido para farinha de arroz foi possível afirmar que a mesma tem uma alta tendência à retrogradação e, conseqüentemente, à sinerese. As diferenças encontradas nos valores de PV e VF podem ser relacionadas com a quantidade de lipídeos presente nas amostras de farinha de arroz, visto que, este componente pode formar complexo com amilose, retardando a absorção de água e, conseqüentemente aumentando o pico de viscosidade e a viscosidade final da pasta (GERITS; PAREYT; DELCOUR, 2015). Além disso, valores altos de viscosidade de pasta podem estar relacionados também a presença de proteínas nas farinhas, que podem incorporar o amido dentro de sua matriz, limitando o acesso de água ao amido restringindo seu intumescimento (KAUSHAL, KUMAR E SHARMA, 2012).

A viscosidade de quebra indica vulnerabilidade ou suscetibilidade do amido presente na farinha à desintegração, representando a fragilidade frente à agitação mecânica e ao aquecimento. Assim, quanto maior a quebra de viscosidade, menor será a capacidade da amostra de farinha de suportar o calor e tensão de cisalhamento durante o cozimento (ADEBOWALE et al., 2005). A farinha de grãos quebrados de arroz apresentou valor médio de viscosidade de quebra ($11,69 \text{ RVU}$), ligeiramente superior ($3,33\%$) ao reportado por Puncha- Arnon e Uttapap (2013) ($11,3 \text{ RVU}$), indicando que a farinha de GQA pode ser capaz de formar uma pasta instável, devido à fragilidade do amido frente a ciclos de agitação e aquecimento.

A viscosidade do sistema é diminuída devido ao desenvolvimento de uma estrutura em rede pela agregação das moléculas de amilose. Esse fenômeno pode ter ocorrido na farinha de grãos quebrados do arroz, visto que a mesma possui quantidade elevada de amilose (AHMED; AL-JASSAR; THOMAS, 2015). A proteína com estrutura danificada pelo processo de moagem pode limitar o inchaço dos grânulos de amido durante o aquecimento (HASJIM; LI; DHITAL, 2013; KIM; SHIM, 2014), portanto, aumentar a viscosidade de pasta como pode ser observado no resultado de pico de viscosidade da farinha de arroz.

2.3.2 Características químicas

2.3.2.1 Umidade

A farinha de grãos quebrados de arroz apresentou teor de umidade ($12,45 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) abaixo do valor máximo permitido pela legislação vigente no país ANVISA (1978). Um alimento com umidade abaixo de $14 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ é adequado para o armazenamento, pois a umidade é um fator limitante para o desenvolvimento de microrganismos e reações bioquímicas, que podem alterar características sensoriais e físicas de um alimento durante a sua conservação e armazenamento (SILVA; ASCHERI; PEREIRA, 2007).

O valor obtido de umidade observado nesse trabalho foi ligeiramente superior aos valores obtidos por Limberger et al. (2008) e Tavares (2010), $11,47 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $11,70 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Segundo Nepomuceno et al. (2011), pequenas variações na composição são comuns, principalmente em relação ao teor de umidade, uma vez que esses valores dependem das características da matéria-prima e das condições de secagem empregadas.

2.3.2.2 Proteína

O valor de proteína bruta encontrado na farinha de grãos quebrados de arroz (Tabela 2.2) foi semelhante ao reportado por Kim e Shim (2014), que obtiveram valor de proteína bruta ($8,1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), e ligeiramente maior que o obtido por Carvalho et al. (2012), de $7,50 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$.

A porcentagem relativamente baixa de proteína se dá, principalmente em função do processamento ao qual o grão de arroz foi submetido. No caso do arroz branco polido há teores distintos de proteína antes e após o beneficiamento. Quanto maior a intensidade do polimento, maior número de camadas são perdidas, e consequentemente, maiores são as perdas de nutrientes (SILVA; ASCHERI; PEREIRA, 2007). Entretanto, o nitrogênio do arroz branco polido possui maior digestibilidade (86%) que o arroz integral (75%) (STORCK; SILVA; COMARELLA, 2005).

Tabela 2.2. Composição química, pH e acidez dos grãos quebrados de arroz.

Análise	Valores
Umidade ¹	12,45 ± 0,15
Proteínas ¹	8,18 ± 0,37
Cinzas ¹	0,94 ± 0,034
Lipídeos ¹	1,07 ± 0,08
Fibra Alimentar Total ¹	2,13 ± 0,07
Carboidratos ¹	89,81 ± 0,48
Valor Energético ²	357,16
Açúcares Totais ¹	1,88 ± 0,001
Açúcares Redutores ¹	1,31 ± 0,06
Ph	6,89 ± 0,05
Acidez ³	0,58 ± 0,02

Média seguida de desvio-padrão;

¹expresso em g. 100 g⁻¹ (b.s);

²kcal (100 g)⁻¹ (b.u);

³g de NaOH.100 g⁻¹

Os teores de proteína também podem ser afetados pelas características genótípicas, adubação nitrogenada e temperatura durante o desenvolvimento dos grãos de arroz (MINGOTTE; HANASHIRO; FILHO, 2012). Além disso, o teor de proteínas pode ser afetado pela distribuição granulométrica da farinha de arroz, visto que a homogeneização pode fragmentar os agregados de proteína em partículas pequenas, melhorando suas solubilidade (KIM; SHIM, 2014).

Para a maioria das cultivares de arroz o valor protéico fica na faixa de 7-8 g 100 g⁻¹ no grão polido. A proteína do arroz contém os principais aminoácidos essenciais ao homem. É uma proteína de boa qualidade e, que combinada com leguminosas proporciona uma mistura com valor proteico ainda mais valioso (PIRES et al., 2006). As proteínas do arroz podem ser agrupadas em quatro tipos diferentes, abulmina, globulina, prolamina e glutelina. Estas se localizam no esdosperma e são organizadas em dois tipos de corpos proteicos: I (rico em prolamina), e II (rico em glutelina e globulina). A glutelina corresponde a 80% das proteínas do endorperma do grão de arroz (MARCHEZAN; AVILALL, 2008).

2.3.2.3 Cinzas

O teor de cinzas da farinha de grãos quebrados de arroz (Tabela 2.2) foi maior que os valores encontrados por Limberger et al. (2008) e Carvalho et al. (2012), de 0,54 e 0,24 g 100 g⁻¹, respectivamente. Variações nos teores de cinzas em farinha de arroz podem se dar por vários aspectos, entre eles as operações empregadas durante o processamento. Walter et al. (2008) observaram aumento no conteúdo mineral do arroz parboilizado em comparação ao do arroz branco polido, e justificaram esse aumento à migração de minerais das camadas externas para o endosperma durante o processo. As cinzas na farinha de grãos quebrados de arroz correspondem ao resíduo inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica entre 550- 570°C, sendo constituída de macronutrientes (K, Ca, Na e Mg), pequenas quantidades de micronutrientes (Al, Fe, Cu, Mg e Zn), bem como traços de I, F e outros elementos. Os elementos minerais se apresentam nas cinzas sob a forma de óxidos, de sulfatos, de fosfatos, de silicatos e de cloretos, dependendo das condições de incineração e da composição do alimento (SILVEIRA, 2013).

2.3.2.4 Lipídeos

O valor médio para lipídeos nos grãos quebrados de arroz (Tabela 2.2) foi similar ao obtido por Bortolini (2010) (1,01 g 100 g⁻¹), que avaliou a composição centesimal de subproduto da parbolização de grãos de arroz. Ferng et al. (2016), avaliando as propriedades físico-químicas de farinhas de arroz, obtiveram valores menores de lipídeos para farinha de arroz japônica (0,70 g 100 g⁻¹), para a farinha de arroz glutinoso (0,22g 100 g⁻¹), e para a farinha de arroz índica (0,29 g 100 g⁻¹). A variação nos teores de lipídeos em farinha de arroz pode ocorrer devido principalmente aos diferentes processos de beneficiamento e cultivares (STORK; SILVA; COMARELA, 2005).

A maior concentração de lipídeos no grão de arroz ocorre no gérmen e na camada de aleurona, da mesma maneira que os minerais. Dessa forma o polimento do arroz, reduz o teor de lipídeos, visto que 80% dos lipídeos do grão se encontram nas camadas periféricas (NAVES, 2007).

A fração lipídica do arroz é pequena e constituída principalmente de ácidos palmítico (16:0), oléico (18:1) e linoléico (18:2), que juntos correspondem a aproximadamente 95% dos ácidos graxos presentes nos lipídios totais. Os ácidos graxos

oléico e linoléico são importantes para a saúde, visto que não são sintetizados pelo organismo humano (WALTER et al., 2008).

2.3.2.5 Fibra alimentar total

O conteúdo de fibra alimentar total na farinha de grãos quebrados de arroz encontrado foi relativamente baixo (Tabela 2.2). Fibra alimentar consiste na parte do vegetal resistente a digestão enzimática e as secreções do trato gastrointestinal para produzir energia, englobando todos os tipos de substâncias fibrosas ou não, incluindo a celulose, lignina, pectina, inulina, frutooligosacarídeos e o amido resistente. Entre muitos dos seus benefícios ao ser humano, fibra alimentar serve de substrato para formação de ácidos graxos de cadeia curta que fornecem energia para as células intestinais desempenharem bem suas funções (COPPINI et al., 2004). Nicoletti et al. (2007), utilizando a farinha de arroz para formulação de macarrão, obtiveram valor 20,22 % superior ao encontrado no presente estudo (2,67 g 100 g⁻¹) para fibra alimentar total. Essa diferença pode decorrer por diversos fatores, mas principalmente pelo tipo de cultivares, ano da safra, adubação e condições climáticas, sob as quais o cereal foi produzido.

2.3.2.6 Carboidratos totais e valor energético

No presente estudo foram calculados para farinha de grãos quebrados de arroz 89,81 g 100 g⁻¹ e 357,16 kcal 100 g⁻¹, respectivamente. Carvalho et al. (2012) obtiveram teor inferior, de 75,90 g 100 g⁻¹ de carboidratos para o mesmo tipo de farinha. Heisler et al. (2008), verificando a viabilidade da substituição da farinha de trigo pela farinha de arroz na merenda escolar, obtiveram o valor inferior de 76,67 g 100 g⁻¹ de carboidratos e próximo de 361,13 kcal 100 g⁻¹ na farinha de arroz. Segundo Frei et al. (2003) a concentração de carboidratos na farinha de arroz pode variar devido a fatores genéticos, ambientais, processamento do grão, refletindo significativamente no percentual de amido, consequentemente, no valor dos carboidratos. Os carboidratos são os principais constituintes do grão de arroz, sendo o amido o maior constituinte da matéria seca o qual se acha presente na forma de amilose e amilopectina, estando em sua maioria no endosperma do grão. Este constituinte é responsável por muitas das funcionalidades da farinha de arroz (LAJOLO; MENEZES, 2006). Devido sua

importância em todo o mundo, o guia alimentar brasileiro indica a população brasileira o consumo de carboidratos complexos como fonte de energia diária total da alimentação (BRASIL, 2014).

2.3.2.7 Açúcares totais e redutores

A farinha de grãos quebrados de arroz obteve 69,68% de açúcares redutores em relação aos açúcares totais (Tabela 2.2). Ferreira et al. (2013), avaliando a produção de açúcares redutores por hidrólise ácida e enzimática de farinha de grãos quebrados de arroz, obtiveram 0,56 g 100 g⁻¹ de açúcares redutores para farinha de grãos quebrados de arroz, valor inferior ao encontrado no presente estudo. Os principais açúcares encontrados no arroz são a sacarose, a glicose e a frutose, presentes em pequenas quantidades na forma de açúcares livres, localizados principalmente na camada externa do grão de arroz, portanto sua concentração pode ser afetada pela variedade, grau de polimento e processamento (TRAN et al., 2004).

A análise de açúcares redutores em farinha de arroz é de fundamental importância, pois por ser rica em lisina, um aminoácido extremamente redutor, devido a presença do grupamento α e ε -amino em sua estrutura, que em condições severas de temperatura, pode sofrer reação de Maillard com aldeídos, provocando escurecimento da farinha ou do produto final que contém farinha de arroz (SHIBAO; BASTOS, 2011). Além disso, o teor de açúcares pode influenciar a higroscopicidade da farinha, tendo em vista a estabilidade do pó armazenado, uma vez que os açúcares interagem fortemente com vapor de água do ambiente, devido sua natureza hidrofílica (NUNES et al, 2009).

2.3.2.8 pH, acidez e atividade de água

O pH da farinha fornece informações sobre sua acidez, neutralidade ou alcalinidade. O nível de hidrogênio dissociado livre (H^+) nas farinhas pode exercer um efeito inibitório ou letal sobre a célula microbiana. Dependendo da faixa de pH em que a farinha se encontra, ela pode ser classificada como alimento de baixa acidez (pH >4,5), ácido (pH entre 4,5 e 4,0) ou muito ácido (pH < 4) (AZEVEDO, et al., 2012). O valor de pH da farinha de grãos quebrados de arroz foi próximo à neutralidade (Tabela 2.2), podendo ser classificada

como um alimento de baixa acidez. O pH próximo à neutralidade da farinha de grãos quebrados de arroz somando ao baixo teor de umidade são adequados para o armazenamento do produto, e para sua aplicação em produtos alimentícios de forma segura, no que diz respeito as condições microbiológicas.

A acidez total titulável da farinha de grãos quebrados de arroz foi baixa (Tabela 2.2). Como não existe determinação de um valor tolerável para farinha de arroz, o valor encontrado foi comparado com o referencial de 3 g 100 g⁻¹ de acidez titulável, recomendado como padrão máximo para farinha de trigo comum. A baixa acidez encontrada para farinha de arroz sugere que os grãos de arroz foram obtidos em condições ótimas de cultivo, e armazenamento adequados (FERREIRA et al. 2009).

A farinha de grãos quebrados de arroz pode ser classificada como um alimento de baixa atividade de água (0,481±0,01). Essa atividade de água pode ser desfavorável ao crescimento microbiano, mas favorável à oxidação de lipídeos presentes no alimento. Isso pode ser explicado pela formação de canais na matriz como resultado da eliminação de água, através dos quais é favorecida a migração do oxigênio (CASTRO; MARTINS, 2012). A disponibilidade da água na farinha de grãos quebrados de arroz é um fator intrínseco de grande importância para a sua conservação, preservação e vida útil de um alimento.

2.3.3 Risco microbiológico

Houve ausência na farinha de grãos quebrados de arroz de coliformes termotolerantes e *Salmonella*, indicando boas práticas de higiene durante seu preparo e manipulação. O produto foi considerado apto para o consumo como ingrediente alimentar. A presença de *Salmonella* e Coliformes termotolerantes ocupam lugar de destaque no campo da saúde pública, como importantes patógenos veiculados por alimentos. A presença desses patógenos pode originar vários processos infecciosos no trato gastrointestinal, determinando que o alimento contaminado seja impróprio para o consumo (DONCINI et al., 2011).

Com relação aos bolores e leveduras: contagem de bolores e leveduras na farinha de grãos quebrados de arroz (<10² UFC g⁻¹) indicou uma boa condição higiênica do produto. A pesquisa de bolores e leveduras é de extrema importância, visto que alguns desses microrganismos são produtores de compostos altamente tóxicos, as micotoxinas, e metabolitos secundários, que podem apresentar atividade mutagênica e carcinogênica. Os

bolores e leveduras podem contaminar os grãos ainda no campo ou durante o armazenamento do produto (HERMANNNS; PINTO; NOLL, 2006).

A contagem de *Bacillus cereus* na farinha de grãos quebrados de arroz situou-se abaixo do limite estabelecido pela legislação ($<10^3$ UFC g⁻¹). O *Bacillus cereus* é largamente distribuído na natureza, sendo o solo o seu reservatório natural. Por esta razão, contamina facilmente alimentos como vegetais, cereais e tubérculos. A ingestão de alimentos contaminados com cepas patogênicas de *Bacillus cereus* pode levar a ocorrência de dois tipos de doenças, a emética e a diarréica, pois assim como os bolores e leveduras essas cepas são produtoras de toxinas (SOUZA; FEGUEREDO; SANTANA, 2015).

2.4 CONCLUSÃO

A farinha de GQA reúne características estruturais, físicas, químicas e microbiológicas extremamente vantajosas, com alto potencial como ingrediente alimentar de baixo custo. A farinha GQA apresenta alto teor de carboidratos, responsável pelo seu alto valor energético. Com relação às propriedades de pasta a farinha de GQA apresenta alta tendência a retrogradação e formação de pasta a partir de 70° C. Além disso, apresenta temperatura de transição vítrea em 66°C, indicando a temperatura ideal de armazenamento e processamento. O amido presente na farinha de GQA apresenta padrão de cristalinidade tipo A com cristalinidade relativa de 17,19 %, que influencia diretamente na solubilidade e absorção de água e, conseqüentemente, suas propriedades de pasta.

REFERÊNCIAS

- ADEBOWALE, K. O.; OLU-OWOLABI, I.O.; OLAWUNMI, E.K.; LAWAL O.S. Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpusaltilis*) starch. **Industrial Crops and Products**, New York, v.21, p. 343–351, 2005.
- AHMED, J.; AL-JASSAR, S.; THOMAS, L. A comparison in rheological, thermal, and structural properties between Indian Basmati and Egyptian Giza rice flour dispersions as influenced by particle size. **Food Hydrocolloids**, Washington, v. 48, p. 12-83, 2015.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.

ANG, L.; XIE, B.; SHI, J.; XUE, S.; DENG, Q.; WEI, Y.; TIAN, B. Physicochemical properties and structure of starches from chinese rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, Washington, v. 24, n. 2-3, p. 208-216, 2010.

ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 159-166, 2010.

ASMEDA, R.; NORZIAH, A. N. M. Relations starch granules damaged and size distribution of particles with collar and thermal profiles of milled rice flour MR263. **Chemical Food**, New York, v.191, n. 3, p.45-15, 2016.

Association Of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 19th ed. Washington: AOAC; 2012.

ASHOGBON, A.O.; AKINTAYO, T. E. Isolation, composition, morphological and pasting properties of starches from rice cultivars grown in Nigeria. **Starch - Stärke**, Glasgow, v. 64, n. 3, p. 181–187, 2012

AZEVEDO, H, M, C.; PINTO, G. A.; BRITO, E. S.; AZEREDO, R, M, C. **Fundamento de estabilidade de alimentos**: alterações microbiológicas em alimentos durante a estocagem. 2ed. Brasília: Embrapa, 2012, 15p.

ANVISA-Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA n. 12 de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 de julho de 1978. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>.

BARBOSA, L. N.; GARCIA, L. V.; TOLOTTI, K. D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; ESPÍRITO SANTO, M. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 1 e 2, p. 11-20, 2006.

BRASIL- Ministério de saúde. **Guia Alimentar para a população brasileira**. 2ª edição, Brasília, 2014. 158 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF: ANVISA, disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>>. Acesso em: 12 de março de 2014.

BERTOLINI, V. M. S. Determinação da composição centesimal do arroz parboilizado (*oriza sativa*) e seu subproduto. In. 8ª Jornada de Pós-graduação e Pesquisa. **Revista Congrega Urcamp**, Bagé, Anais, 2010.

BREWER, L. R.; WETZEL, D. L. Fourier transform infrared (FT-IR) micro spectroscopic genetic expression of the waxy trait isogenic durum and common wheat. **Cereal Chemistry**, Washington, v. 89, p. 94–99, 2012.

CARVALHO, S.; PIRES, C. C.; WOMMER, T. P.; PELEGRI, A. C. R. S.; MORO A. B.; VENTURINI, R. S.; BRUTTI, D. D. Características da carcaça de cordeiros alimentados com dietas contendo diferentes resíduos agroindustriais. **Revista Agrarian**, Dourados, v.5, n.18, p.409-416, 2012.

CARVALHO, W. T.; REIS, R. C.; VELASCO, P.; SOARES-JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M. Características físico-químicas de extratos de arroz integral, quirera de arroz e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 421-429, 2011.

CARVALHO, A. V.; BASSINELLO, P. Z.; ANDRADE, R.; CARVALHO, R. N.; SECCADIO, A. O. R. L. Processamento e caracterização de *snack* extrusado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 72-83, 2012.

CASTRO, R. R.; MARTIN, O. A. Análise físico-química de cobertura líquida para sorvete sabor chocolate em diferentes temperaturas de armazenamento. **Revista Eletrônica de Educação e Ciência**, Avaré, v. 02, n. 4, p. 01-5, 2012.

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.

COPPINI, L. Z.; WAITZBERG, D. L.; CAMPOS, F.G.; HARB-GAMA, A. Fibras Alimentares e Ácidos Graxos de Cadeia Curta. In: Waitzberg, D.L., **Nutrição Oral**, Enteral e Parenteral na Prática Clínica. 3ª ed. São Paulo: Atheneu; p. 79 – 94, 2004.

COZZOLINO, D; ROUMELIOTIS, S.; EGLINTON, J. An attenuated total reflectance mid infrared (ATR-MIR) spectroscopy study of gelatinization in barley. **Carbohydrate Polymers**, Aveiro, v. 108, n.8, p. 266-271, 2014.

DONCINI, G. P.; ROCHA, D. T.; MORAES, C. R.; BORSOI, A; SCHMIDT, V. Presença de Presença de *Salmonella* spp. em pintos de um dia, comercializados spp. em pintos de um dia, comercializados para produção não industrial em Santa Catarina. **Acta Scientiae Veterinariae**, Venezuela, v.39, n. 1. p. 950, 2011.

DENARDINI, C. C.; SILVA, L. P. D. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p. 945-954, 2009.

DORS, G. C.; CASTIGLIONI, G. L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 2, p. 63-67, 2006.

ETUDAYE, H.; NWABUEZE, T.; SANI, L. Varieties base don quality Fufu Transfo rmed mosaic disease a cassava (TMC) Resistan. **Jornal Africano de Ciência dos Alimentos**, v.3, n. 2, p. 61-67, 2009.

FALADE, K. O.; CHRISTOPHER, A. S. Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six nigerian rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, Washington, v. 44, n. 3, p. 478-490, 2015.

FDA. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2002. **Bacteriologi calanalytical manual**. Disponível em:< <http://www.cfsan.fda.gov/~eban/ban-4html>>. Acesso em: 20/004/2014.

FEITOSA, L. R. G. F. Avaliação de qualidade de pão tipo francês por métodos instrumentais e sensoriais. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 693-704, 2013.

FERNG, L.; LIOU, C.; YEH, R.; CHEN, S. H. Physicochemical property and glycemic response of chiffon cakes with different rice flours. **Food Hydrocolloids**, Washington, v.53, n. 4, p. 72-179, 2016.

FERREIRA, S. M.; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S.; BELEIA, A. D. P. Produção de açúcares redutores por hidrólise ácida e enzimática de farinha de arroz. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 15, n.4, p. 383-390, 2013.

FERREIRA, S. M. R.; LUPARELLI, P. C.; SCHIEFERDECKER, M. E. M.; VILELA R. M. Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Venezuela, v. 59, n. 4, p. 433-440, 2009.

FREI, M.; SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chemistry**, Barking, v.83, p.395-402, 2003.

GALDEANO, M. C.; GROSSMANN, M. V. E.; MALI, S.; BELLO-PEREZ, L. A. Propriedades físico-químicas do amido de aveia da variedade brasileira IAC 7. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n. 4, p. 905-910, 2009.

GERITS, L. R.; PAREYT, B; DELCOUR, J. A. Wheat starch swelling, gelatinization and pasting: effects of enzymatic modification of wheat endogenous lipids. **LWT- Food Science And Technology**, Georgia, v. 63, p. 361- 366, 2015.

HAGENIMANA, A.; DING, P; PU, X. Study on thermal and rheological properties of native rice starches and their corresponding mixtures. **Food Research International**, Campinas, v.38, n. 3, p. 257–266. 2005.

HEISLER, G. E. R.; ANTÔNIO, G. A.; MOURA, R. S.; MENDONÇA, C. R. B.; GRANADA, G. G. Viabilidade da substituição da farinha de trigo pela farinha de arroz na merenda escolar. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.3, p. 299-306, 2008.

HASJIM, J; LI, E; DHITAL, S. Milling of rice grains: effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, Aveiro, v. 92, n. 1, p. 682-690, 2013.

HERMANN, G.; PINTO, F. T.; KITAZAWA, S. E.; NOLL, I. B. Fungos e fumonisinas no período pré-colheita do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.1, p. 7-10, 2006.

IAL-Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.

ICC-International Association for Cereal Science and Technology. **Rapid pasting method using the newport rapid viscoanalyser**. Vienna, 1995. 10 p. (Standard, 162).

JITNGARMKUSOL, S.; HONGSUWANKUL, J.; TANANUWONG, K. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. **Food Chemistry**, Barking, v.110, n.1, p. 23–30, 2008.

JAYAKODY, J. A. L. P. The effect of acid hydrolysis on granular morphology and physicochemical properties of native cereal starch granules. 2001. 141 p. Thesis (Master of Science) - Memorial University of Newfoundland, Newfoundland, 2001.

JONGSUTJARITTAM, O.; CHAROENREIN, S. The effect of moisture content on the physico-chemical properties of extruded waxy and waxy rice flour non. **Carbohydrate Polymers**, Aveiro, v. 114, n. 2, p. 133-140, 2014.

KIM, J. ; SHIN, M. Effects of particle size distribution of rice flour as a gluten-free rice crackers. **LWT- Food Science and Technology**, Georgia, v. 59, n. 4, p. 526-532, 2014.

KAUSHAL, P.; KUMAR, V.; SHARMA, H. K. Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. **LWT- Food Science and Technology**, Georgia, v. 48, n. 1, p. 59- 68, 2012.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionais ibero americano**. São Paulo: Edusp. v. 1, p. 17-46. 2006

LAMBERTS, L.; GOMAND, S.V.; DERYCKE, V.; DELCUR, J. Presence of amylose crystallites in parboiled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, n. 8, p. 3210–3216, 2009.

LEITE, J. T. C.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Transições de fases em alimentos: influência no processamento e na armazenagem. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.7, n.1, p.83-96, 2005.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; PATIAS, D. L. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos, **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, 84-88, 2008.

LI, Y.; HOEMAKER, C. F. S.; MA, J.; MOON, K. J.; ZHONG, F. Structure-viscosity relationships for starches from different rice varieties during heating. **Chemical Food**, New York, v. 106, n. 3, p. 1105- 1112, 2008.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas Resistant starch and its physicochemical properties. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

MANCEBO, C. M.; PICÓN, J.; GÓMEZ, M. Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. **LWT-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 264-269, 2015.

MARCHEZAN, M.W.E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

- MIRANDA, V. R.; CARVALHO, A. J. F. Blendas compatíveis de amido termoplástico e polietileno de baixa densidade compatibilizadas com ácido cítrico. **Polímeros**, São Carlos, v. 21, n. 5, p. 353-360, 2011.
- MILLER G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n.3, p. 426, 1959.
- MINGOTTE, F. L. C.; HANASHIRO, R. K.; FILHO, D. F. Características físico-químicas do grão de cultivares de arroz em função da adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2605-2618, 2012.
- MIR,S.A.; BOSCO, S. J. D. Cultivar Difference in physical- chemical properties of starches and flours seasoned rice of Indian Himalayas. **Chemical Food**, Washington, v. 157, n. 2, p. 448- 456, 2014.
- MOURA, L. S. M.; ASCHERI, J. L. R. Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas pré - gelatinizadas de arroz, milho e feijão por extrusão termoplástica. **V Fórum de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural**, Rio de Janeiro CD-ROM, 2010.
- NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between water - saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/Stärke**, v. 35, n. 12, p. 407-41-, 1983.
- NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **Boletim e Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 51-60, 2007.
- NEPOMUCENO, R. C.; CARVALHO, L. E.; FREITAS, E. R.; GOMES, T. R.; AQUINO, T. M. F.; ELLERY, E. A. C.; MOREIRA, R. H. R.; VIEIRA, J. J. F. Inclusão da quirera de arroz em rações de suínos na fase de creche. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 3, p.718-728, 2011.
- NICOLETTI, A.M.; SILVA, L. P.; HECKTHEUER, L. H.; TOLEDO, G. S. P.; GUTKOSKI, L. C. Uso de subprodutos agroindustriais no desenvolvimento de macarrão nutricionalmente melhorado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 4, p. 421-429, 2007.
- NUNES, L. S.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. Avaliação do comportamento higroscópico de amido de inhame. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 149-158, 2009.
- PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. J. Colour measure mentand analysis in fres hand processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 6, n. 1, p. 36-60, 2013.
- POLESI, L. F.; LIMA, D. C.; MORAIS, P. G.; ROMO, I. C. F.; SARMENTO, S. B. S.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, funcional e nutricional de duas cultivares brasileiras de arroz. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 8, n. 1, p. 1262-1273, 2014.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; ROSA, J. C., NEUZA, M. B. C. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes proteicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 179-187, 2006.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. Corantes artificiais em alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.14, n.2, p. 237-250, 2003.

PUNCHA-ARNON, S.; UTTAPAP, D. Rice starch vs. Rice flour: Differences in your properties when modified by moisture heat treatment. **LWT - Food Science and Technology**, Georgia, v. 91, n. 1, p. 85-91, 2013.

RAVI, R.; SUSELAMMA, N. S. Simultaneous optimization of a multi-response system by desirability function analysis of boondi making: a case study. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, n. 8, p. 539-547, 2005.

ROY, P.; IJRI, T.; OKADOME, H. Effect of processing conditions on overall energy consumption and wuality of rice (*Oriza sativa* L.). **Journal of Food Engineering**. California, v. 89, n. 3, p. 343-348, 2008.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant Starch: Review. **Comprehensive Reviews Food Science and Food Safety**, v. 5, n. 1, p. 1-16, 2006.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M. Z.; LIMBERGER, V. M. Review trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.2, p.211-222, 2011.

SEIBEL, N. F.; BELÉIA, A.D. P. Características químicas e funcionalidade tecnológica de ingredientes de soja [*Glycine Max* (L.) Merrill]: carboidratos e proteínas. **Brazilian Jornal Food and Technology**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 113-122, 2009.

SHENK, J.S.; WORKMAN, J.J.; WESTERHAUS, M. O. Application of NIR spectroscopy to agricultural. **Handbook Of Near-Infrared Análise** p. 347-386, 2007.

SILVA, R. F. ASCHERI, J. L. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Composição centesimal e perfil de aminoácidos de arroz e pó de café. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 3, p. 325-330, 2007.

SILVEIRA, P.T.S. Barra de cereal com farinha da casca da berinjela (*Solanum melongena*, L.): análise microbiológica, caracterização química e aceitação sensorial. **III Congresso brasileiro de processamento de frutas e hortaliças**, Ilheús, v. 26, p. 614- 619, 2013.

STORCK, C. R.; SILVA, L. P.; COMARELLA, C. G. Influência do processamento na composição nutricional de grãos de arroz. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.16, n.3, p. 259-264, 2005.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Composição centesimal e perfil de aminoácidos de arroz e pó de café. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 3, p. 325-330, 2007.

SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; VELASCO, P.; REIS, R. C.; CARVALHO, W. T. Bebidas saborizadas obtidas de extratos de quirera de arroz, arroz integral e de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 407-413, 2010.

SOARES JÚNIOR, M. S.; SANTOS, T. P. B.; PEREIRA, G. F.; MINAFRA, C. S.; CALIARI, M.; SILVA, F. A. Desenvolvimento de salgadinhos extrusados a partir de fragmentos de arroz e de feijão. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 189-198, 2011.

SOUZA, J. R.; FIGUEIREDO, R. M.; SANTANA, C. M. P. Qualidade microbiológica da farinha de mandioca comercializada na região sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 17, n.2 , p. 117-123, 2015.

SHIBAO, J.; BASTOS, D. H. M. Produtos da reação de Maillard em alimentos: implicações para a saúde Maillard. **Revista e Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 6, p. 895-904, 2011.

TRAN, T. U.; SUZUKI, K.; OKADOME, H.; HOMMA, S.; OHTSUBO, K. Analysis of the tastes of brown rice and milled rice with different milling yields using a taste sensing system. **Food Chemistry**, Barking, v. 88, n. 4, p. 557-566, 2004.

TATTINI-JUNIOR, V. T.; PARRA, D. F.; PITOMBO, R. N. M. Influência da taxa de congelamento no comportamento físico-químico e estrutural durante a liofilização da albumina bovina. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*. **Brazilian Journal of Pharmaceutic al Sciences**, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 127-136, 2006.

TAVARES, J. S. **Mudanças físico-químicas e sensoriais de farinhas de arroz submetidas à torração em micro-ondas**. 2010. 218f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

TAVARES, J. S.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BECKER, F. S.; EIFERT, E. C. Mudanças funcionais de farinha de arroz torrada com micro-ondas em função do teor de umidade e do tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 6, p. 1102-1109, 2012.

TORRES, M. D.; MOREIRA, R.; CHENLO, F.; MOREL, M. H. Effect of water and guar gum content on thermal properties of chestnut flour and its starch. **Food Hydrocolloids**, Washignton, v. 33, n. 2, p. 192–198, 2013.

TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 411-426, 2009.

VIDAL, V.; PONS, B.; BRUNNSCHWEILER, J.; HANDSCHIN, S.; ROUAU, X.; MESTRES, C. Cooking Behavior of Rice in Relation to Kernel Physicochemical and Structural Properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washignton, v. 55, n. 2, p. 336-346, 2007.

WALTER, M.; MARCHEZANII, E.; ÁVILA, L. A. D. E. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WANI, A. A.; SINGH, P.; SHAH, M. A.; WANI, I. A.; SCHOTT, A. G.; ZACHERL, C. Physico-chemical, thermal and rheological properties of starches isolated from newly released

rice cultivars grown in Indian temperate climates. **LWT- Food Science and Technology**, Georgia, v. 53, n. 1, p. 176-186, 2013.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica, e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.29, n.4, p. 748-753, 2009.

WARREN, F. J.; PERSTON, B. B.; ROYALL, P. G.; BUTTERWORTH P. J.; ELLIS P. R. Infrared spectroscopy with heated attenuated total internal reflectance enabling precise measurement of thermally induced transitions in complex biological polymers. **Analytica Chemistry**, Washignton, v. 85, n. 8, p. 3999–4006, 2013.

YONEMOTO, P. G.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. M. L. Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 761- 771, 2007.

ZHANG, X.; YU, P. Using ATR-F /IR molecular spectroscopy to detect effects of blend DDGS inclusion level on the molecular structure spectral and metabolic characteristics of the proteins of hullless barley. **Spectrochimica Acta A: Molecular Biomolecular Spectroscopy**, Tarrytown, v. 95, n. 3, p. 53–63, 2012.

ZULUAGA, M. F.; BAENA, Y.; MORA C. E.; PONCED'LEON, L. F. Physico chemical characterization na dapplicationo f Yam (*Dioscoreacayenensis -r otundata*) starch as a pharmaceutical Excipient. **Starch/Stärke**, Glasgow, v. 59, n. 7, p. 307–317, 2007.

CAPITULO 3

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS, FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DE POLPA DE AÇAÍ LIOFILIZADA

RESUMO

O açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) é uma fruta nativa da Amazônia bastante consumida no Pará, porém vem ganhando espaço no Brasil e mundialmente. A polpa de açaí é normalmente comercializada congelada. Dessa forma, surge a necessidade da utilização de outros métodos, que proporcionem melhor conservação, de forma a preservar mais suas propriedades. O objetivo do presente estudo foi caracterizar a polpa de açaí liofilizada (PAL) quanto as suas propriedades estruturais, físico-químicas, térmicas, tecnológicas e microbiológicas. A PAL apresentou valores expressivos de lipídeos ($49,14 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), proteínas ($9,19 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), fibras alimentar ($20,29 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), açúcares totais ($2,71 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), compostos fenólicos totais ($1405,03 \text{ mg AG } 100 \text{ g}^{-1}$) e antocianinas ($127 \text{ mg cianidina-3- glicosideo.}100\text{g}^{-1}$). A cor da polpa apresentou-se com tonalidade escura, tendendo ao roxo. Houve um aumento significativo nos índices de absorção de água (IAA) e solubilidade em água (ISA) quando a PAL foi submetida a gradual elevação de temperatura. As micrografias eletrônicas da PAL evidenciaram uma matriz contínua de aspecto esponjoso, enquanto a difratometria de raio-X indicou que 96,17% da estrutura das moléculas se encontra em estado amorfo e 3,82% no cristalino. A curva de DSC apresentou uma mudança sutil no fluxo de calor, apresentando temperatura de pico $60,16^{\circ}\text{C}$, temperatura onset $53,28^{\circ}\text{C}$, e temperatura inset $71,41^{\circ}\text{C}$. O produto possui baixo risco microbiológico, alto valor nutricional e teor de compostos bioativos, portanto o consumo da polpa de açaí na forma liofilizada, assim como as aplicações como ingrediente de novos produtos, devem ser incentivados.

Palavras-chave: Propriedades funcionais, propriedades térmicas, propriedades químico-estruturais, microscopia eletrônica de varredura, composição centesimal, compostos bioativos.

3.1 INTRODUÇÃO

O açaizeiro (*Euterpe Oleraceae*) é uma palmeira nativa da Amazônia, que pertence à família *Arecaceae*. Sua distribuição é predominantemente tropical e subtropical, encontrando-se no Estado Pará, Brasil, as maiores reservas naturais dessa palmeira (KANG, et al., 2012). O fruto chamado de açaí é uma baga globosa, fibrosa com 0,5 cm de diâmetro, de cor pardo-violácea contendo uma polpa oleaginosa e comestível, e a semente possui o endocarpo duro e fibroso. Quando completamente maduro o fruto é recoberto por uma casca branco-acinzentada (GORDON, et al., 2012).

O Brasil é o maior produtor de açaí do mundo, e na última década a produção alcançou mais de 100.000 t ano⁻¹, movimentando mais de 100 milhões de reais anuais (IBGE, 2011). A maior parte da produção é consumida no Pará. Porém, o consumo de açaí vem atravessando as fronteiras da Amazônia. Muitos brasileiros têm mostrado interesse no cultivo do açaí em escala comercial, especialmente nas regiões norte e nordeste. Além disso, o comércio da polpa do açaí congelada vem crescendo rapidamente, inclusive no mercado internacional, oferecendo ótimas oportunidades de negócio (CONAB, 2014).

O crescimento nacional e internacional do consumo de açaí pode ser atribuído a um maior conhecimento das propriedades nutricionais desse fruto, pois este é um alimento rico em proteínas, fibras, lipídios (ácidos graxos oleico 52,79 g 100 g⁻¹ e palmítico 25,56 g 100 g⁻¹), vitamina E, e minerais, como manganês, cobre, boro, potássio, zinco, cálcio e cromo (MENEZES, 2008; OZAKI, 2011). Além de quantidades expressivas de uma classe distinta de flavonoides, as antocianinas, o que atribui propriedades antioxidantes (funcionais) a esse fruto (BERNAUD; FUNCHAL, 2011; TONON; BRABET; HUNBINGER, 2013).

Estudos epidemiológicos mencionam que dietas ricas em polifenóis têm sido relacionadas com o baixo risco no desenvolvimento de doenças, como câncer e moléstias neurodegenerativas, como a doença de Parkinson e a doença de Alzheimer. A ação antioxidante dessas substâncias podem ser um dos fatores envolvidos com o baixo risco para desencadear estas patologias (MELO, 2008).

Devido à alta perecibilidade do açaí, sua vida útil é curta, mesmo sob refrigeração. Além disso, as antocianinas são pigmentos bastante instáveis ao processamento e armazenamento. Assim, a indústria de alimentos tem buscado por processos simples que visem aumentar a vida útil do açaí e melhorar a estabilidade das antocianinas (TONON; BRABET; HUNBINGER, 2013).

A tradicional forma de comercialização da polpa de açaí nas outras regiões do Brasil, ou na exportada é a congelada. No entanto, o elevado teor de umidade ($89,90 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) poderia ser removido, diminuindo-se o volume e massa dos produtos, o que facilitaria seu transporte, além da sua aplicação como ingrediente na formulação de diferentes tipos de alimentos (FREGONESI et al., 2010).

A liofilização, processo de secagem de alimentos por sublimação a baixas temperaturas sob vácuo, é um método de conservação desenvolvido para superar as perdas de nutrientes e compostos responsáveis pelos aromas dos alimentos, que são susceptível às modalidades de processamento que empregam temperaturas elevadas, como a secagem convencional (VIEIRA; NICOLETE; TELIS, 2012), podendo assim, ser uma alternativa para conservação dos nutrientes e compostos bioativos da polpa de açaí e facilitar a sua utilização como ingrediente ou corante na formulação de diversos produtos alimentícios. O objetivo desse estudo foi avaliar as propriedades físico-químicas e microbiológicas da polpa de açaí liofilizada, tendo em vista a escassez de dados, podendo assim, fornecer informações relevantes à indústria de alimentos, referentes à potencialidade da polpa de açaí liofilizada como ingrediente alimentício.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Matéria-prima e processamento

A polpa de açaí congelada, adquirida no comércio local de São Luis – Ma, foi acondicionada em caixas de poliestireno expandido e transportada, por via aérea, para Goiânia-Go. Para a liofilização da polpa descongelada, a mesma foi depositada em bandejas de aço inoxidável do liofilizador (*Liotop*, L101, São Carlos, Brasil), e congelada em um congelador rápido (*ColdLab*, CL347-80, Piracicaba, Brasil), até a massa atingir -40°C . Em seguida, as placas com a polpa congelada foram transferidas para o liofilizador, e o vácuo foi acionado, para que parte da água livre da polpa fosse sublimada. O processamento durou em média 72 h, a uma pressão de 138 mmHg e temperatura do condensador de -51°C . A polpa de açaí liofilizada foi moída em liquidificador industrial (*Vitalex*, LQI-02, Catanduva, Brasil), para melhorar a homogeneidade, acondicionada em sacos de polietileno metalizado com alumínio, para impedir a passagem da luz, e armazenada em freezer a -18°C até a realização

das análises. As amostras foram separadas em três repetições originais, e as análises realizadas em triplicata.

3.2.2 Granulometria

O tamanho das partículas foi determinado em um granulômetro (Bertel, 4819, Caieiras, Brasil) segundo metodologia estabelecida por Zanotto e Bellaver (1996). Amostra de 100 g de grãos quebrados de arroz foi peneirada durante 10 min em um conjunto de peneiras (com diâmetro dos orifícios de 0,841, 0,250, 0,149, 0,105, 0,074 mm). As quantidades retidas em cada peneira e na base foram pesadas e expressas em porcentagem. A partir da porcentagem de amostra retida foi determinado o índice de uniformidade (IU), módulo de finura (MF) e o diâmetro geométrico médio das partículas (DGM).

3.2.3 Microscopia eletrônica de varredura

Após desidratação à vácuo, a PAL foi colocada em suportes de alumínio (stubs) e recoberta com uma película de ouro no aparelho e observados em microscópio eletrônico de varredura (Jeol, JSM – 6610, São Paulo, Brasil). As micrografias de superfície foram obtidas com aumentos da ordem de 300, 800 e 1500 vezes.

3.2.4 Parâmetros instrumentais de cor

Os parâmetros instrumentais de cor foram analisados através de colorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA). A calibração foi efetuada em superfície de porcelana branca, a fim de se obter um padrão, em seguida foram realizadas as leituras dos parâmetros: luminosidade (zero = preto e 100 = branco), coordenadas de cromaticidade a^* (-80 até zero = verde, e zero ao +100 = vermelho) e b^* (-100 até zero = azul, do zero ao + 70 = amarelo). A partir das leituras dos parâmetros a^* e b^* , foram calculados a croma (saturação da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz), utilizando as equações 1 e 2. As amostras foram colocadas em placas de petri.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Equação 1}$$

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Nas quais:

C^* = cromaticidade;

H = ângulo Hue;

$\tan^{-1}$ = arco tangente;

a^* é a coordenada de cromaticidade entre o verde e o vermelho;

b^* é a coordenada de cromaticidade entre o azul e o amarelo.

3.2.5 Índices de solubilidade em água, de absorção de água e de óleo

Os índices de solubilidade em água (ISA), absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) foi determinado segundo Anderson et al. (1969), os dois primeiros nas temperaturas de 25, 60, 70, 80 e 90°C, enquanto o IAO somente a 25°C. Amostra de 2,5 g foi pesada em tubos de centrifuga, previamente tarados, e adicionados de 30 mL de água destilada. O tudo foi agitado em banho maria por 30 min nas temperaturas citadas, e centrifugado a 3000 rpm por 15 min em centrífuga (Best Etetronics, TG- WS, China). O sobrenadante foi retirado com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10 mL, permanecendo apenas o precipitado formado no tubo. O valor de IAA foi calculado utilizando-se a Equação 3, e o resultado expresso em g de precipitado por g de matéria seca. O ISA foi calculado pela relação entre a massa do resíduo seco do sobrenadante (resíduo da evaporação) e da amostra, conforme Equação 4. Para a determinação do IAO a água foi substituída pelo óleo de soja. Após a centrifugação, o liquido sobrenadante de cada amostra foi descartado, deixando-se os tubos ligeiramente invertidos durante 1 min. O IAO foi obtido pela relação entre a massa do resíduo centrifugado pela amostra em base seca (Equação 5).

$$IAA = \frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso da amostra(bs)}} \quad \text{Equação 3}$$

$$ISA = \left\{ \left[\frac{PRE}{PA} \right] 3 \right\} 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$IAO = \frac{PRC}{PA} \quad \text{Equação 5}$$

Nas quais:

ISA= índice de absorção de água (g g^{-1});

PRE= massa do resíduo da evaporação (g);

IAO= índice de absorção em óleo (g precipitado g de matéria seca);

PRC= massa do resíduo da centrifugação (g);

PA= massa da amostra (g) (base seca);

3.2.6 Difração de raio-x e cristalinidade relativa

O padrão de difração de raio-X foi obtido com difratômetro de bancada (Arl-Zeiss, URD6, Jena, Alemanha), de acordo com a metodologia reportada por Weber, Collares-Queiroz e Chang (2009). A amostra foi colocada em um porta-amostra situado num plano a um ângulo θ de 5° da fonte de raio-X (conhecido como ângulo de Bragg). A faixa de medição foi de 5° a 40° , com uma velocidade de $0,45^\circ \text{ min}^{-1}$, operando a 35 kV e 15 mA, com radiação incidente $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ de Cu- $\text{K}\alpha$. Os difratogramas foram obtidos num ângulo de 5° a 40° na escala de 2θ . A cristalinidade relativa foi quantitativamente calculada baseando-se na relação entre a área dos picos e área total dos difractogramas, conforme método descrito por Nara e Komiya (1983), utilizando o aplicativo Origin versão 7.5 (MicrocalInc, Northampton, EUA).

3.2.7 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

As análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas utilizando-se pastilhas de brometo de potássio (KBr), em e o equipamento (Bomem Hartmann & Braun, MB 102, Quebec, Canadá). As condições de operação foram estabelecidas na região $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$, com 32 varreduras, e resolução de 2 cm^{-1} . Para o preparo das pastilhas, aproximadamente 1 mg de cada amostra foram misturados com 100 mg de KBr, sendo essa mistura, comprimida entre dois pastilhadores sob alta pressão (de aproximadamente oito toneladas) até a formação de uma pastilha translúcida e sem deformações.

3.2.8 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas da farinha liofilizada foram determinadas utilizando um calorímetro diferencial de varredura (TA Instruments, Q20, New Castle, UK), baseando-se na metodologia descrita por Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009). Amostras de 2 mg (b.s) foram pesadas em porta amostras de alumínio, próprios para o equipamento DSC. Água destilada (6 μ L) foi adicionada, e os porta amostras selados em prensa específica. Em seguida, os mesmos foram mantidos por 12 h a temperatura ambiente, para uniformizar a distribuição da água. Para análise a amostra foi aquecida de 35 a 100°C, sendo realizada com uma taxa de 10°C min⁻¹. Uma porta amostra de alumínio vazio foi utilizado como referência. As temperaturas de transição (inicial, pico e final), a variação de entalpia (ΔH) da farinha de açaí liofilizado (PAL) durante aquecimento, sendo determinadas com auxílio do aplicativo TA Universal Analysis (TA Instruments, New Castle, UK).

3.2.9 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram obtidas em equipamento Rapid Visco Analyser (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia) na concentração de 3,5 g por 25 mL de água destilada. Para o cálculo da concentração foram efetuadas correções na quantidade de amostra e na quantidade de água adicionada de acordo coma tabela fornecida pelo fabricante. A programação “Flour” foi utilizada de acordo com a metodologia 162 proposta pela International Association for Cereal Science and Techonology (ICC, 1995). A suspensão formada pela farinha e a água foi mantida a 50°C por 3 min e 45 s, para investigar a viscosidade da farinha à baixa temperatura, aquecida a 95°C sob velocidade constante de 6°C min⁻¹, mantida nessa temperatura por 3 min e 30 s, resfriada a 50°C durante 4 min e 10 s sob a mesma velocidade, e mantida a 50°C por mais 1 min e 25 s, totalizando 12 min e 30 s de marcha analítica. As características de pasta avaliadas foram de pico de viscosidade (PV), viscosidade final (VF), quebra de viscosidade (QV) ou *breakdown* e tendência à retrogradação (TR) ou *setback*, expressos na unidade do aparelho, rapid visco units (RVU).

3.2.10 Atividade de água, acidez total titulável e pH

A determinação da atividade de água (Aa) foi obtida em AquaLab digital (Braseq, CX-2-T, Jarinu, Brasil), acoplado a um banho termostático controlado, na temperatura de 25°C. Para a medida do pH foi utilizado o potenciômetro (Tecnal, TEC-51, Piracicaba, Brasil), previamente calibrado com solução tampão pH 4 e pH 7, com inserção do eletrodo diretamente em 5 g de farinha diluída em 100 mL de água. A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N. As análises foram realizadas de acordo com as normas estabelecidas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.2.11 Composição centesimal e valor energético total

A umidade foi quantificada por dessecação a 105°C em estufa com circulação de ar até peso constante; as cinzas por pesagem após incineração a 550°C em forno mufla; o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6,25 resultou no teor de proteína bruta; e os lipídeos por extração com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra alimentar total foi utilizada amostra desengordurada da extração por Soxlet, seguindo método enzimico-gravimétrico. O teor de carboidratos foram calculados pela diferença entre 100 e a soma das porcentagens de água, proteína, lipídeos totais e cinzas. O valor energético (kcal) calculado multiplicando o peso/g de carboidratos e proteínas por 4 e o peso/g dos lipídeos por 9. Todos conforme as recomendações da AOAC (2012).

3.2.12 Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais

O método de captura de radicais DPPH (2,2 difenil-1-picril-hidrazil) foi utilizado para determinação da capacidade antioxidante, de acordo com a metodologia descrita por Rufino et al. (2007). Os compostos fenólicos totais foram quantificados pelo método de Folin-Ciocalteu, como descrito por Singleton e Rossi (1965), que se fundamenta na redução dos ácidos fosfomolibídico e fosfotungstístico na presença de formas fenólicas, com formação de complexos de coloração azul que absorvem fortemente entre 620 e 700 nm. O conteúdo de antocianinas totais monoméricas foi determinado pelo método de pH diferencial

(WROLSTAD, 2001), utilizando dois sistemas tampão: cloreto de potássio - ácido clorídrico pH 1,0 (0,025 M) e acetato de sódio pH 4,5 (0,4 M).

3.2.13 Açúcares totais, redutores e não redutores

Os açúcares redutores (AR) e os açúcares redutores totais (ART) foram determinados segundo metodologia de Miller (1959), que se baseia na redução do ácido 3,5 – dinitro salicílico a ácido 3-amino–5–nitro salicílico, e a leitura realizada em espectrofotômetro (Bel Photonic, SP2000UV, Piracicaba, Brasil), usando solução de glicose como padrão.

3.2.14 Risco microbiológico

Análises de *Coliformes termotolerantes* a 45°C, bolores e leveduras, *Bacillus cereus* e *Salmonella spp.* foram realizadas segundo as normas da Food and Drug Administration (FDA, 2002). Os resultados obtidos foram avaliados segundo os parâmetros estabelecidos pela resolução RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001).

3.2.15 Análise dos resultados

A partir dos dados obtidos foram calculados as médias, os desvios-padrão e os coeficientes de variação, com auxílio do aplicativo software *Statistica 7.0*. (Statsoft, São Caetano do Sul, Brasil).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Granulometria

Na análise granulométrica a maior parte das partículas grossas (93,58%) da PAL ficou retida na peneira de abertura de malha de 0,842 mm (20 mesh) e partículas finas na peneira de 0,25mm. O diâmetro médio de partículas (DMP) foi de 3,28 mm e o módulo de

finura de 4,97. Segundo Borges (2006), as características granulométricas de uma matéria-prima constituem aspectos relevantes para elaboração de um produto alimentício, pois uma distribuição adequada das partículas permite maior uniformidade do produto elaborado, aspecto confirmado na PAL que apresentou alta homogeneidade.

3.3.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

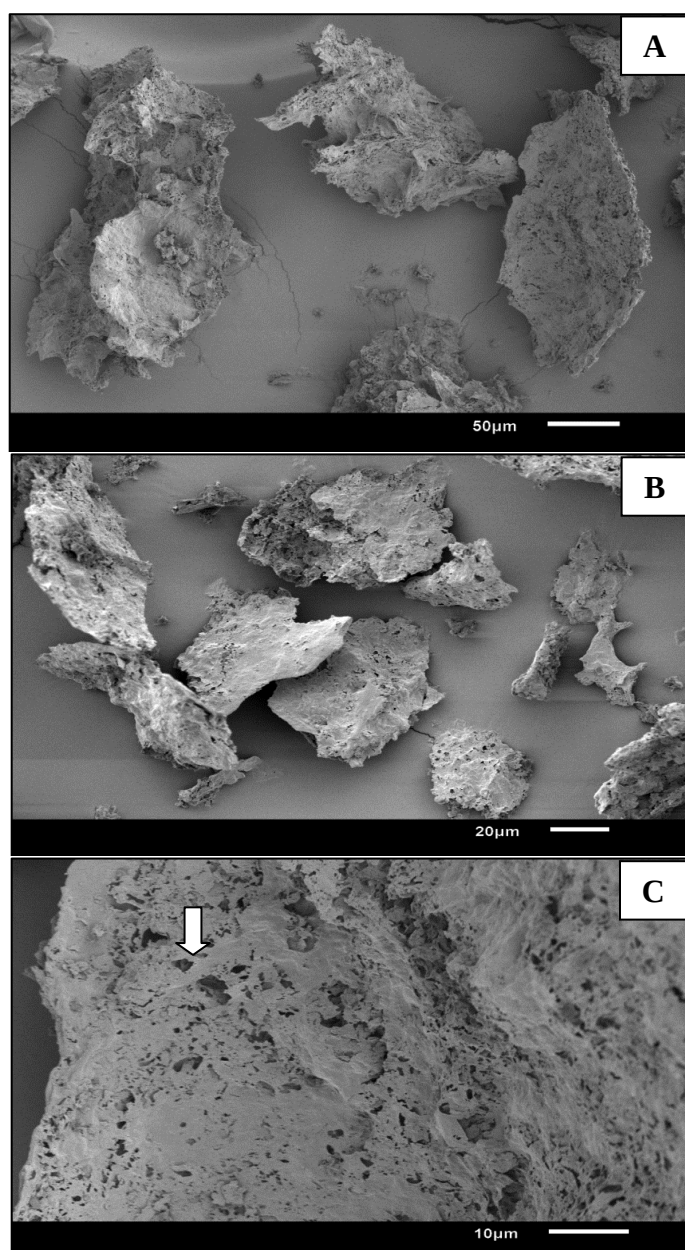


Figura 3.1. Micrografias eletrônicas de varredura de polpa de açaí liofilizada (PAL). A) PAL com aumento de 300x; B) PAL com aumento de 800x; C) detalhe de uma partícula de PAL com aumento de 1500x.

As partículas da PAL apresentaram tamanho e forma disformes, não podendo ser classificadas como esféricas ou elípticas, mais laminares (Figura 3.1 A, B e C), com aparência esponjosa, devido à grande quantidade de poros. Coerente com o que se espera de um produto liofilizado, visto que durante a retirada de água se formam capilares microscópicos, criados pela sublimação dos cristais de gelo. Tal característica relaciona-se com uma maior capacidade de absorção de água pelo produto (THAKURA et al. 2012; EZHILARASI et al., 2013). Cerballos et al. (2012) e Voda et al. (2012) observaram o mesmo fenômeno em frutas e verduras liofilizadas.

3.3.3 Parâmetros instrumentais de cor

O valor médio de luminosidade obtido ($29,53 \pm 0,44$) indicou uma tonalidade escura concentrada. Em relação à coordenada a^* a polpa apresentou valor próximo da neutralidade ($1,06 \pm 0,07$), indicando tonalidade que tende ligeiramente ao vermelho, o que já era esperado, tendo em vista que se tratava de polpa rica em antocianinas, pigmento responsável pelas colorações vermelha, azul e violeta em diferentes frutos e flores (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009).

O valor da croma (C^*) foi de 10,44, indicando uma cor mais pura e saturada. Enquanto, o do ângulo Hue ($5,80 \pm 0,43$) confirma uma maior intensidade de vermelho e azul, que representa o violeta. Canuto et al. (2010) obtiveram valores para polpa de açaí para L^* , C^* de 16,6 e 12,9, respectivamente, que representa polpa pouco mais escura e mais saturada. Rocha (2009) avaliando polpa de mirtilo encontrou valores de L^* , C^* e H de 24,55, 2,29, -0,24 respectivamente que indicaram uma polpa pouco mais escura, saturada e azulada em relação aos parâmetros instrumentais de cor obtidos neste estudo para a PAL.

3.3.4 Índices de solubilidade em água, de absorção de água e de óleo

A PAL apresentou índice de solubilidade em água (ISA) alto à temperatura ambiente (Tabela 3.1). Porém, inferior ao ISA a temperatura ambiente reportado por Clemente et al. (2012) para farinha de resíduo do processamento de laranja (24%). Pois, os compostos presentes no açaí são menos solúveis, predominando lipídeos e fibras insolúveis.

O ISA é o critério mais confiável para avaliar o comportamento de um pó em solução aquosa, e está relacionado com a capacidade de solubilização do amido e de outros componentes químicos solúveis presente na amostra, como açúcares, fibra alimentar solúvel e proteínas solúveis (CHEN; PATEL, 2008; LOURBES; TOLABA, 2014).

O índice de absorção de água (IAA) da PAL a temperatura ambiente (Tabela 3.1) foi superior ao índice de absorção de óleo (IAO), provavelmente em função dos grupos hidrofílicos estarem ligeiramente em maior proporção, como observado no espectro de absorção do infravermelho (Figura 3.3). Pois, os valores de IAA e de IAO dependem da exposição de grupos hidrofílicos e lipofílicos presentes nas moléculas constituintes do produto. Houve um aumento significativo ($<0,05$) do IAA e ISA com o aumento da temperatura a partir de 60°C (Tabela 3.1). Esse aumento já era esperado, visto que o aumento da temperatura causa alterações conformacionais nas moléculas de amido, de proteína e das fibras presentes na PAL, expondo seus grupos hidrofílicos (-OH), o que facilita sua ligação com a água (ASCHERI et al., 2006).

Tabela 3.1. Índices de solubilidade em água (ISA), de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) da polpa de açaí liofilizada nas temperaturas de 25, 60, 70, 80 e 90°C

Temperatura (°C)	IAA* (g gel 100 g ⁻¹)	IAO* (g precipitado 100 g ⁻¹)	ISA* (%)
25	4,26 ^{bc} ± 0,10	2,83 ± 0,04	18,29 ^d ± 0,32
60	3,24 ^d ± 0,10	-	21,74 ^c ± 0,56
70	4,22 ^c ± 0,06	-	22,68 ^{cb} ± 0,54
80	4,45 ^b ± 0,06	-	24,09 ^b ± 0,91
90	4,59 ^a ± 0,17	-	26,40 ^a ± 0,43

*Valores expressos em base seca.

Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5%.

3.3.5 Difração de raio-x e cristalinidade relativa

A PAL apresentou boa parte de sua estrutura na condição amorfa (96,17 %), que no difratograma é representado por um pico difuso e largo (Figura 3.2). Porém, a PAL também apresentou um pico definido de alta intensidade no ângulo 21,01° e um de baixa intensidade em 24,4°, indicando a presença de uma região cristalina com índice de 3,83%. Esses ângulos foram próximos aos encontrados comumente em difratogramas de sacarose, de

glicose e de frutose cristalizada, sugerindo que o processo de liofilização atingiu as condições necessárias para a formação desses cristais (CANO-CHAUCA; STRINGHETA; RAMOS, 2005).

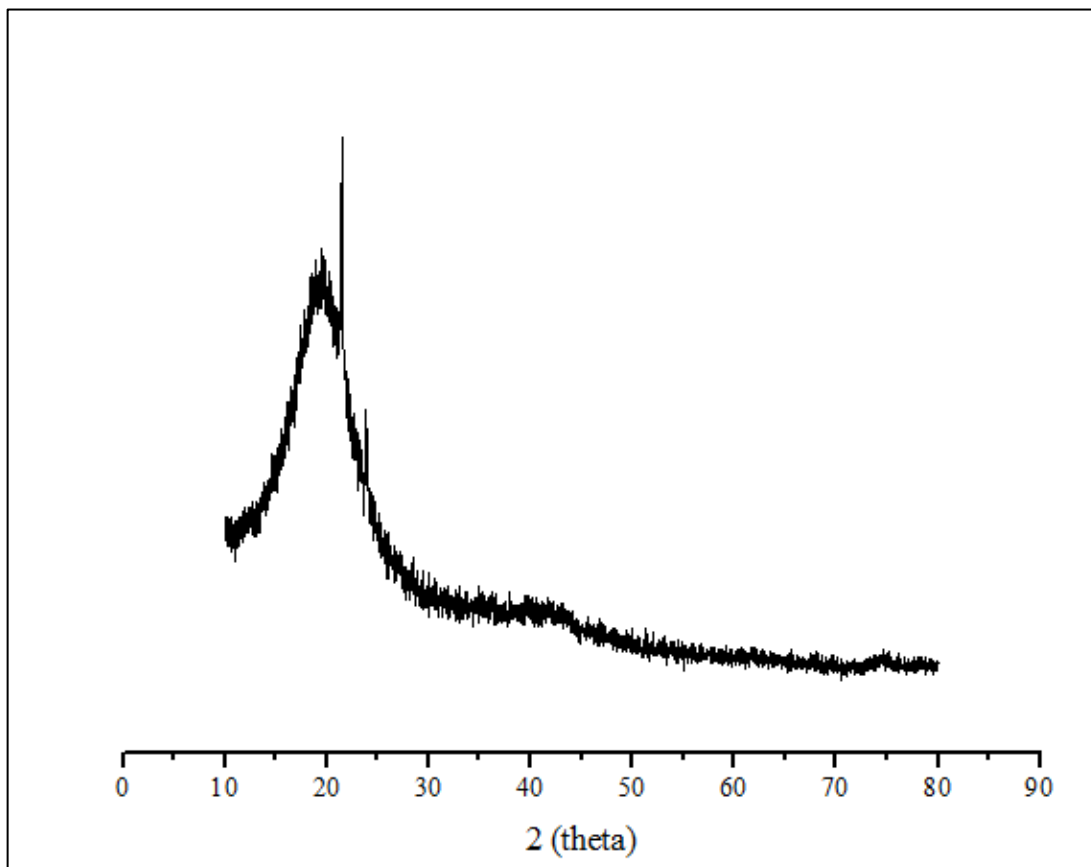


Figura 3.2. Difractograma de raio-X de polpa de açaí liofilizada a 25°C.

Ao contrário, Caparino et al. (2012), avaliando o método de secagem sobre as propriedades físicas e microestrutura de manga liofilizada, obtiveram difractograma com característica amorfa, sem pico de cristalinidade. Enquanto, Harnkarnsujarit e Charoenrein (2011), também avaliando o comportamento da polpa de manga liofilizada, após sete dias de armazenamento a 25°C, encontraram picos de cristalinidade semelhantes aos obtidos no presente estudo. A cristalização de açúcares em produtos liofilizados é desejável, visto que açúcares cristalizados dificultam a adsorção de água e, conseqüentemente, há uma menor higroscopicidade, obtendo pós mais estáveis (CARLOS; RESENDE; CAL-VIDAL, 2005), uma vantagem que pode ser verificada na PAL.

3.3.6 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

O espectro de absorção de infravermelho permitiu fornecer evidências da presença de vários grupos funcionais na estrutura orgânica na PAL (Figura 3.3), com pico largo e forte, entre comprimentos de onda 3200 cm^{-1} e 3600 cm^{-1} , relacionado ao alongamento da ligação O-H presente na molécula de água, enquanto picos fortes entre 2831 cm^{-1} a 2977 cm^{-1} correspondem ao estiramento da ligação C-H, provavelmente de fragmento de CH_2 dos ácidos graxos, correspondendo também ao estiramento de NH_3 de aminoácidos (PEREIRA et al., 2015; ANJOS et al., 2015).

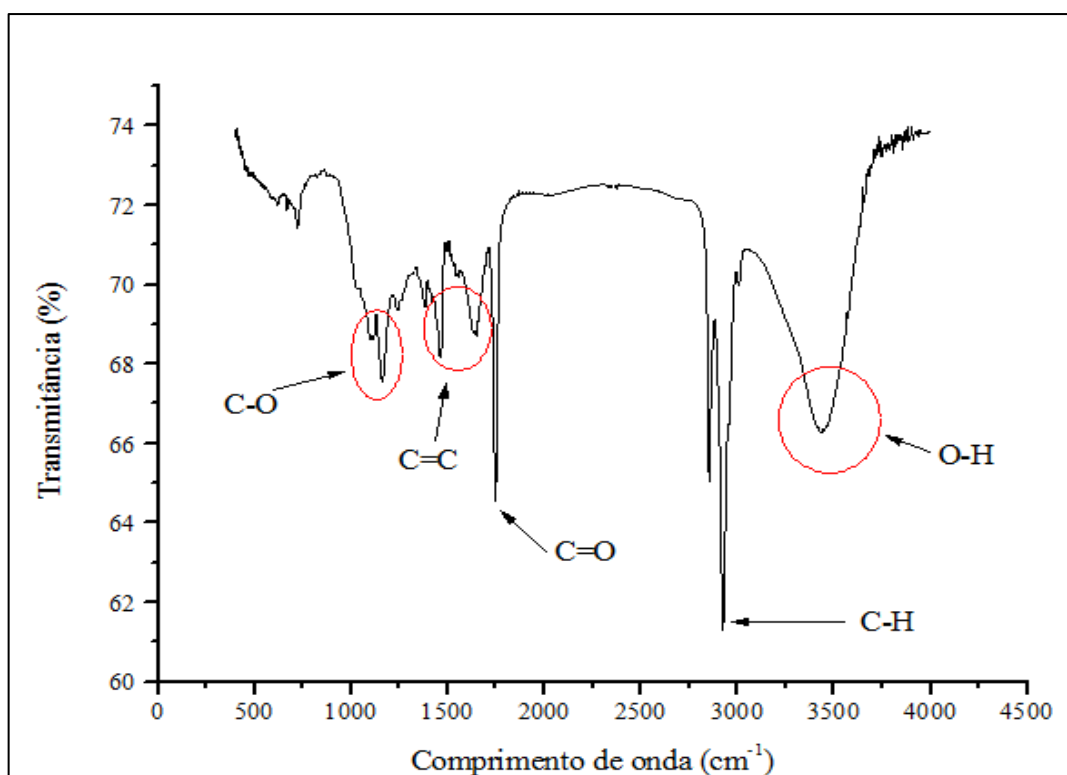


Figura 3.3. Espectro de absorção do infravermelho da polpa de açaí liofilizada

A banda em comprimento de onda 1748 cm^{-1} pode ser associada com o alongamento da ligação C=O (Figura 3.3), grupamento existente no ácido oléico, que constitui grande parte dos ácidos graxos presentes na PAL (MENEZES et al., 2008). A região de banda próxima a 1760 cm^{-1} está relacionada à ligação C=O dos componentes saturados, sendo provavelmente de ácido palmítico, presente em grande quantidade na polpa de açaí liofilizada segundo a literatura (NASCIMENTO et al. 2008; MENEZES et al., 2008; NÚÑEZ-SANCHEZ et al. 2016). A vibração em comprimento de onda 1614 cm^{-1} está

associada à oscilação das duplas ligações de C=C, que são típicas de compostos aromáticos, provavelmente de compostos fenólicos e antocianinas presentes na PAL (TARANTILIS et al., 2008; SOUZA; VIEIRA; LIMA, 2011). A região entre os comprimentos de onda 1200 a 1500 cm^{-1} representou uma região mista, que contém bandas que correspondem a ácidos graxos, proteínas e polissacarídeos. E a de 957 a 1200 cm^{-1} está associada ao estiramento da ligação C-O de polissacarídeos, açúcares (frutose e glicose), ésteres e ácidos orgânicos, tal como relatado por Shiroma e Rodriguez-Saoma (2009) e Musingarabwiet et al. (2016).

3.3.7 Propriedades térmicas

A curva de DSC da PAL apresentou uma mudança sutil no fluxo de calor, começando em 53,28 °C (T_{on}), com pico em 53,28°C (T_p), terminando em 71,41°C (T_{in}) (Figura 3.4) com entalpia de gelatinização (ΔH) de 0,49 J g⁻¹. O pico sutil visualizado no termograma pode ser decorrente da pequena quantidade de material cristalino presente na PAL.

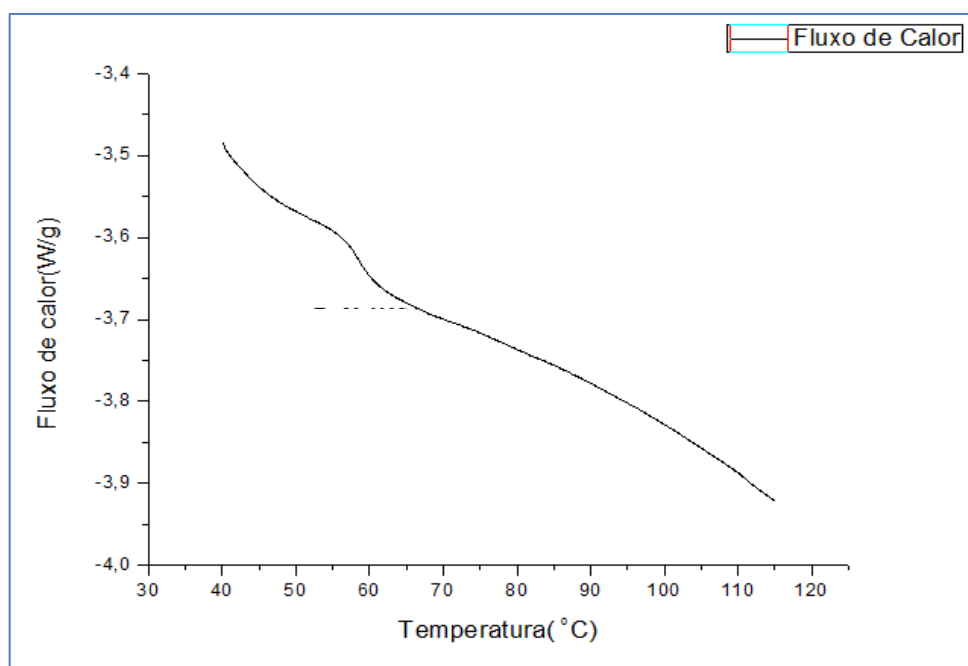


Figura 3.4. Curva de DSC da polpa de açaí liofilizada

A PAL apresentou temperatura de transição vítrea (T_g) em 59,05°C. Pavan, Schmidt e Feng (2012), avaliando as propriedades de açaí, seco por diferentes métodos, obtiveram termogramas parecidos ao obtido nesse estudo, com T_g de 50 a 60°C. T_g é definida como a

temperatura na qual um material amorfo é convertido a partir do estado vítreo para o estado elástico, ou vice-versa. Esse fenômeno ocorre ao longo de um intervalo de temperatura, que é controlado pela heterogeneidade da amostra: quanto maior a heterogeneidade maior o intervalo de transição (SILVA; SOBRAL; KIECKBUSCH, 2006). Porém mais estudos são necessários para melhor indentificar a Tg de PAL.

Em sistemas alimentares, a temperatura de transição vítrea é afetada principalmente pelo teor de água. A transição vítrea afeta a estrutura do alimento e influencia na mobilidade molecular, consequentemente afetando a velocidade das reações químicas. De forma geral, produtos no estado vítreo têm uma estabilidade maior em relação aos produtos no estado amorfo. Portanto, o conhecimento da temperatura de transição vítrea pode supor mudanças dramáticas em algumas propriedades físicas do produto (KASSAPIS et al, 2008; TONON et al., 2009). Na PAL em especial, as informações sobre suas características em relação à temperatura de transição vítrea é extremamente importante para seleção de material de embalagem adequado, e previsão da estabilidade durante o armazenamento.

3.3.8 Propriedades de pasta

A PAL obteve baixos valores de viscosidade de pasta (2,64 RVU), quebra de viscosidade (2,24 RVU), viscosidade final (0,50 RVU) e tendência a retrogradação (0,72 RV) (Figura 3.5), ou seja, praticamente não foi observado propriedade de pasta para a PAL. Os baixos valores encontrados se devem ao baixo teor de amido presente na PAL, visto que a viscosidade de pasta está relacionada, principalmente, com a avaliação do grau de gelatinização do amido e da taxa de fragmentação e solubilização molecular deste (MOURA; ASCHERI, 2013; ZAVAREZE et al., 2009). Além disso, a presença de proteína em quantidade relativamente alta na PAL pode atuar como uma barreira física para o intumescimento do amido presente na polpa, uma vez que os grânulos de amido são encaixados na matriz de proteína, resultando em menor viscosidade de pasta (TROMBINI; LEONEL, 2010).

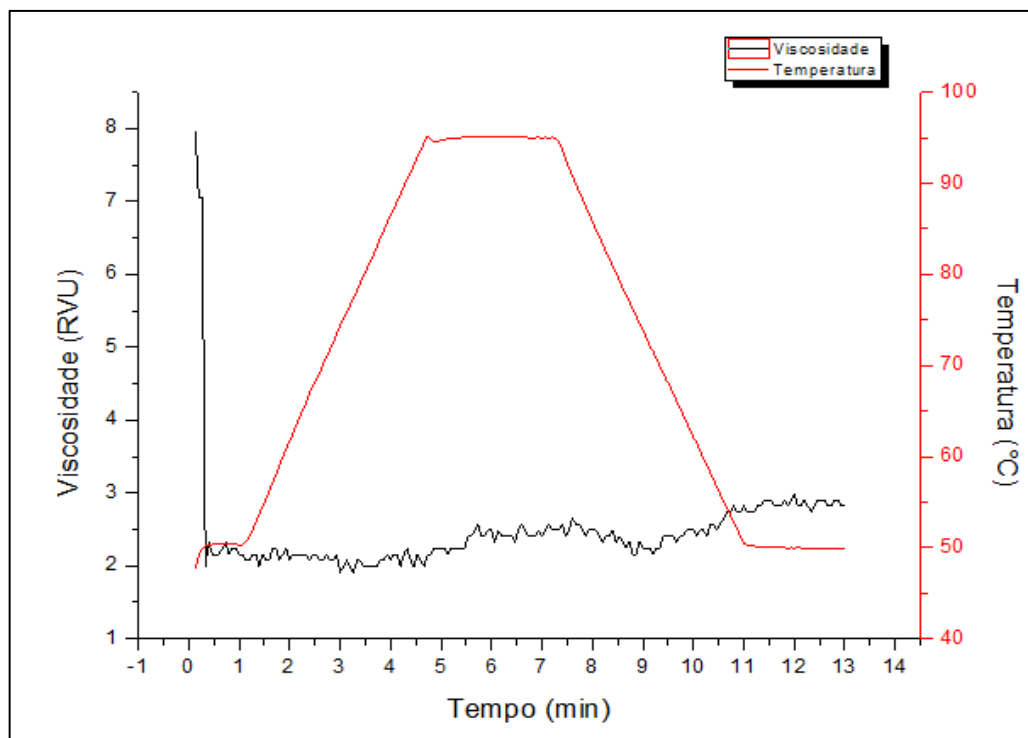


Figura 3.5. Perfil viscoamilográfico da polpa de açaí liofilizada

3.3.9 Composição química e atividade antioxidante

A polpa de açaí após a liofilização apresentou valores de umidade e atividade de água baixos ($5,68 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1} \pm 0,14$, e $0,168 \pm 0,002$, respectivamente). Pela classificação, em função da atividade de água, reportada por Ribeiro e Servaralli (2007), a PAL pode ser considerada como um alimento de baixa umidade. Assim, notou-se a eficácia do método de conservação, que reduziu a umidade e atividade de água da polpa, restringindo a possibilidade de ocorrência de reações químicas, bioquímicas, e garantindo uma polpa estável no ponto de vista microbiológico. Porém, a baixa umidade pode favorecer a oxidação lipídica na PAL, mas a presença de compostos com capacidade antioxidantes na polpa pode ser um fator positivo retardando esse processo (RAMALHO, JORGE 2006).

Na PAL verificou-se considerável concentração de lipídeos (Tabela 3.2), portanto, a maior contribuição nutricional do açaí está relacionada ao seu suprimento energético, cujo valor obtido está em concordância com os dados da literatura (MENEZES et al., 2008; YUYAMA, et al., 2011). Fregonessi et al. (2010), avaliando a rotulagem de polpas de açaí, encontraram teores de lipídios entre $24,75$ e $56,60 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, em base seca. Segundo esses

autores a variação ocorreu devido a diferentes épocas de colheita, estágios de maturação, e volumes de água no momento de extração da polpa.

Tabela 3.2. Composição centesimal, compostos bioativos e atividade antioxidante de polpa de açaí liofilizada.

Característica	Valor Médio
Umidade	5,68 ± 0,14
Proteína ¹	9,19 ± 0,01
Lipídeos ¹	49,14 ± 0,36
Cinzas ¹	5,16 ± 0,09
Fibra Alimentar total ¹	20,29 ± 0,14
Carboidratos ¹	36,6 ± 0,06
Valor energético ²	591,80 ± 4,12
Açúcares Totais ¹	2,71 ± 0,04
Açúcares Redutores ¹	1,70 ± 0,10
Compostos fenólicos totais ³	1405,03 ± 1,80
Antocianinas monoméricas ⁴	127 ± 6,23
Atividade antioxidante ⁵	41,5 ± 0,75

Valores expressos em média seguida de desvio-padrão;

¹ g 100g⁻¹ (b.s);

² kcal 100⁻¹ (b.u.);

³ mg de ácido gálico 100 g⁻¹;

⁴ mg cianidina-3- glicosideo.100g⁻¹;

⁵ % sequestro de radicais DPPH

O teor de proteína da PAL reportado por Menezes et al. (2008) foi de 8,13 g 100 g⁻¹, 10,66% menor que o obtido nesse estudo, enquanto o de Castro et al. (2014) foi 5,28 g 100 g⁻¹, 41,97% menor. O teor de proteína encontrado na PAL no presente estudo é relativamente alto quando comparado aos de alguns frutos comumente presentes na cultura alimentar brasileira, tais como a manga (6,33 g 100 g⁻¹) e o abacaxi (6,53 g 100 g⁻¹), e semelhante ao melão (8,04 g 100 g⁻¹), em base seca (UNICAMP, 2006).

O conteúdo de cinzas encontrado na PAL (Tabela 3.2) foi próximo ao reportado por Sanabria e Sangronis (2007), que avaliaram o açaí em diferentes épocas de colheita, e obtiveram de forma geral valores que variaram de 2,2 a 5,2 g 100 g⁻¹. O teor de cinzas corresponde à quantidade de compostos minerais presente na PAL, indicando a riqueza destes componentes, entre eles o cálcio, magnésio, fosforo, ferro, potássio e outros.

A PAL também apresentou baixo teor de carboidratos, além de valor elevado de fibra alimentar total (Tabela 3.2) quando comparado com polpa de outros frutos ricos em pigmentos, como jambolão, acerola e uva preta ($2,28 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, $1,85 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, $1,12 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente) (LAGO; GOMES; SILVA, 2006; SALGADO; GUERRA; MELO-FILHO, 1999). O valor de fibra alimentar encontrado na PAL está dentro da faixa obtida por Sanabria e Sangronis (2007) para o açaí, entre 20 e $30,9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, e abaixo do reportado por Alexandre, Cunha e Hubinger (2004), de $31,37 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. A fibra alimentar apresenta funções importantes no organismo humano, pois auxilia no funcionamento do intestino pelo aumento do volume do bolo fecal, além de intervir no metabolismo de lipídeos, influenciando diretamente na redução do colesterol, retarda a absorção de nutrientes como açúcares, e promove a sensação de saciedade (UCHOA et al., 2008). Portanto, o açaí pode ser considerado uma excelente fonte de fibra alimentar. O conhecimento do teor de fibra alimentar é interessante também no ponto de vista tecnológico. As fibras podem melhorar algumas propriedades tecnológicas dos alimentos, como a capacidade de absorção de água, de óleo, emulsificação, e com potencial para constituir componente de reforço na elaboração de filmes biodegradáveis, entre outros (ELLEUCH et al., 2011; SOUZA, SILVA; DRUZIAN, 2012).

A PAL apresentou baixos teores de açúcares totais e redutores (Tabela 3.2). A quantidade de açúcares assimiláveis (glicose, frutose e sacarose) no açaí é relativamente baixa, concomitantemente esse fruto não pode ser considerado um alimento que possa disponibilizar energia de consumo rápido (OLIVEIRA; FARIA; PENA, 2007). A presença de açúcares é um fator de qualidade na aceitação da fruta *in natura* ou processada, e também apresenta importância nutricional. As frutas de forma geral são ricas em açúcares redutores (glicose e frutose) de modo que sua determinação é importante para se avaliar a potencialidade de fermentação do produto.

Alexandre, Cunha e Hubinger (2004), estudando a conservação do açaí pela teoria dos obstáculos, reportaram teor de açúcares totais $3,57 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, valor 24,08% acima do encontrado no presente estudo. O teor de açúcares redutores e totais da PAL foram muito inferiores quando comparado com teores encontrados na polpa de mirtilo de diferentes cultivares por Moraes et al. (2007), entre 15,4 e $17,6 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e 35 a $43,6 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. A quantidade de açúcares detectada na PAL pode ser decorrente do teor de taninos e antocianinas presente na fruta, já que esses compostos quando submetidos à hidrólise liberam compostos glicosilados (BARCIA et al., 2012).

O pH do açaí ($5,51 \pm 0,04$) foi relativamente alto, considerando o de outras frutas, e sua acidez total foi baixa ($1,03 \text{ g NaOH } 100 \text{ g}^{-1} \pm 0,04$). Nascimento et al. (2008) obtiveram pH 5,0 para polpa de açaí congelada, valor próximo ao reportado nesse estudo. Borges et al. (2011), estudando diferentes cultivares de açaí, afirmaram que variações na composição química são consideradas naturais, uma vez que o material em estudo é de origem vegetal, e são influenciadas pelo genótipo, pelo solo, condições climáticas, época da colheita dos frutos, processo de despulpamento, condições de armazenamento, e ainda devido as condições analíticas adotadas.

A PAL apresentou quantidade expressiva de compostos fenólicos totais (CFT) (Tabela 3.2), teor bem mais alto do que o presente em polpas de frutas comumente consumidas Brasil, tais como acerola ($580,1 \text{ mg de ácido gálico } 100 \text{ g}^{-1}$), jabolão ($229,6 \text{ mg de ácido gálico } 100 \text{ g}^{-1}$) e manga ($544,9 \text{ mg de ácido gálico } 100 \text{ g}^{-1}$) (KUSKOSKI; ASUERO, 2006). Pompeu, Silva e Borges (2009) encontraram valores de CFT inferiores ao obtido nessa pesquisa ($421 \text{ a } 464 \text{ mg de ácido gálico } 100 \text{ g}^{-1}$), porém esses autores utilizaram amostras de polpa de açaí congelada, que passaram por posterior descongelamento para realização da análise, podendo ter ocorrido perda desses compostos, dependendo da forma como esse descongelamento foi realizado. Enquanto, Rufino et al. (2010) obtiveram valores maiores de CFT para polpa de açaí e de jabuticaba ($3.268 \text{ e } 3.584 \text{ mg ácido gálico } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente). Os compostos fenólicos de uma forma geral são metabolizados como uma resposta de defesa contra radiação solar intensa, e as variações nos frutos são devido à via de formação desses compostos, uma vez que sua presença é diferente em cada um (TAIZ; ZEIGER, 2006).

Os principais compostos fenólicos encontrado no açaí são o ácido gálico, a quercetina e a epicatequina, que estão diretamente relacionados com a capacidade antioxidante desse fruto, visto que estudos comprovam que há uma correlação positiva entre o conteúdo de CFT e a capacidade antioxidante de um alimento (CAMPELO et al., 2011). Segundo Shaus et al. (2006) e Yamaguchi et al. (2015), dentre os fenólicos presente no açaí, a principal classe que se destaca são as antocianinas, sendo a cianidina-3- glicosídeo e a cianidina-3-rutinosídeo as formas predominantes, representando 30% dos CTF, e que são responsáveis pela cor púrpura desse fruto.

A quantificação de antocianinas pode servir como um índice de maturação, devido ao aumento de pigmentos antociânicos sendo um parâmetro de qualidade importante a ser avaliado nos frutos açaí, já que é diretamente direcionada com a maior ou menor presença de pigmentação avermelhada na casca e na polpa do fruto (ROGEZ et al. 2011). O teor de

antocianina (Tabela 3.2) ficou acima da faixa reportada por Santos et al. (2008), que avaliaram 12 polpas de açaí congeladas, e encontraram valores entre 13,93 e 54,18 mg 100 g⁻¹ (b.s). Ao contrário, Yuyama et al. (2011), avaliando o teor de antocianinas de açaí de diferentes ecossistemas amazônicos, obtiveram entre de 128,4 e 868,9 mg 100g⁻¹ (b.s).

Borges (2010), avaliando o teor de antocianinas de açaí de diferentes regiões de Santa Catarina, obteve diferenças significativas, com valores variando de 42,40 a 1080 mg 100 g⁻¹, comprovando que regiões com climas, solo e altitudes diferentes podem ser responsáveis pela grande variação do teor desses compostos no açaí. Além disso, a instabilidade durante o processamento também podem ser outra justificativa (COHEN et al., 2006). Ademais, manejo da cultura, precipitação, fatores sazonais e genéticos também podem ser responsáveis por variações em conteúdo de CFT e das antocianinas, e consequentemente da capacidade antioxidante (GAZÓN et al., 2010; CAMPELO, et al. 2011).

A porcentagem de sequestro de radicais da PAL (Tabela 3.2) atingiu somente a metade do valor reportado por Guerra et al. (2013), que obtiveram 81,6% para polpa de açaí conservada, por liofilização. Castillo et al. (2013) também obtiveram valores de atividade antioxidante acima do encontrado nessa pesquisa, 74,5 % para PAL. A presença de antioxidantes em um alimento é importante por esses compostos terem a capacidade de inibir ou diminuir os efeitos desencadeados pelos radicais livres, como combater os processos oxidativos, amenizando danos ao DNA das células e macromoléculas, e prevenir doenças, como câncer, cardiopatia e catarata (SANTOS et al., 2008).

Os flavonoides atuam como antioxidantes por meio do sequestro direto dos radicais livres, pela regulação da produção de radicais, eliminação dos precursores de radicais, quelação dos metais, inibição da xantina, oxidase ou elevação os antioxidantes endógenos. Com exceção do sequestro direto de radicais, os outros mecanismos atuam como ações antioxidantes indiretas, uma vez que tem ação de prevenção da formação de radicais livres. Essas propriedades se dão pela doação do átomo de hidrogênio ligado ao fenol presente em suas moléculas, que reagem facilmente com os radicais livres (QUINA; FREITAS, 2005). No presente estudo esperava-se encontrar maior capacidade de sequestro de radicais para polpa de açaí liofilizada, pois ela apresentou quantidades expressivas de compostos fenólicos e antocianinas. Porém, é valido ressaltar que as metodologias existentes sempre estão sujeitas a inerência, sendo que nenhuma pode expressar de modo fidedigno a real capacidade antioxidante (HUANG et al., 2005).

3.3.10 Risco microbiológico

O açaí é conhecido por ter uma polpa que se degrada facilmente após a sua extração. Mesmo sob refrigeração sua vida de prateleira é curta. Isso se dá pelo fato da polpa de açaí constituir substrato propício para o crescimento de contaminantes (baixa acidez, e rico em nutrientes). Além disso, a polpa de açaí pode ser contaminada por microbiota proveniente das condições higiênico sanitária dos equipamentos, ambiente de processamento e manipuladores. Os valores médios obtidos para a amostra de PAL estão dentro dos padrões microbiológicos estabelecidos pela RDC nº 12 de 2 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001), pois não houve contaminação da PAL analisada por *Bacillus cereus* (< 10 UFC g⁻¹), *Salmonella* SP (ausente) e Coliformes termotolerantes a 45°C (ausente). Os valores encontrados para bolores e leveduras ($< 10^2$ UFC g⁻¹), ficaram abaixo do valor máximo permitido pela ANVISA ($< 10^4$ UFC g⁻¹), indicando que as boas práticas sanitárias foram atendidas durante o processamento da PAL estando apta para o consumo.

3.4 CONCLUSÃO

A PAL apresenta porosidade e aparência esponjosa, e cristalização dos açúcares devido ao processo de liofilização. Além disso, a PAL apresenta pico sutil de transição vítrea e não apresenta propriedades de pasta e, o que pode ser devido aos teores reduzidos de amido. A PAL apresenta altas concentrações de fibra alimentar, lipídeos e alto valor energético. Além disso, apresenta valores elevados de compostos fenólicos totais, capacidade de sequestro de radicais e antocianinas. Dessa forma, o consumo da PAL deve ser incentivado, bem como utilizado para o desenvolvimento de novos produtos, já que a mesma mostrou-se com alto valor nutricional e características de funcionalidade.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, D.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 114-119, 2004.
- ANJOS, O; CAMPOS, M. G. C.; RUIZ, P. C.; ANTUNES, P. FTIR-ATR spectroscopy application for the quantification of sugar honey. **Food Chemistry**. Reading. v. 169, n. 4, p. 218-223, 2015.

ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. 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**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 325-335, 2006.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.

AOAC-Association Of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 19th ed. Washington: AOAC; 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF: ANVISA, disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>>. Acesso em: 12 de março de 2014.

BARCIA, M. T.; PERTUZATTI, P. B.; JACQUES, A. C.; GODOY, H. T.; ZAMBIARI, R. bioactive compounds, antioxidant activity and percent composition of Jambolão Fruits (*Syzygiumcumini*). **The Natural Products Journal**, Saif Zone, v. 2, n. 2, p. 129-138, 2012.

BERNAUD, F. S. R.; FUNCHAL, C. Atividade antioxidante do açaí. **Nutrição Brasil**, v. 10, n. 5, p. 310-316, 2011.

BORGES, G.S. C; VIEIRA, F.G. K; COPETTI, C.; GONZAGA, L.V.; ZAMBIAZI, R. C.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. Chemical characterization, bioactive compounds, and antioxidant capacity of jussara (*Euterpe edulis*) fruit from the Atlantic Forest in southern Brazil. **Food Research International**, Southern, v. 44, n.7, p.2128-2133, 2011.

BORGES, G. S. C. **Caracterização química e avaliação da atividade antioxidante in vitro de frutos de jussara (*Euterpe edulis*)**. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; DELLA, L. S. M.; PEREIRA, P. C.; MORAES, A. R. F.; CASTRO, V. C. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 145-162, 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº12 de 2 de fevereiro de 2001. Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil, Brasília 10 jan. 2001.

CAMPELO, G. S. B.; VIEIRA, F. G. K. ; COPETT, C.; GONZAGA, L.V.; ZAMBIAZI, C.; FILHO, J. M. ; FETT, R. Chemical, bioactive compounds and antioxidant capacity of jussara (*Euterpe edulis*) fruit of the Atlantic Forest in southern Brazil. *Food Research International*. Campinas, v. 44, n.7, p. 2128-2133, 2011.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL, J. Effect of carriers on the microstructure of the sleeve powder obtained by spray drying and their functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n.4, p. 456-466, 2010.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying method on the physical properties and microstructures sleeve (*Philippine carabaovar.*) powder. **Journal of Food Engineering**, London, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.

CARLOS, L. A.; RESENDE, J. V.; CAL-VIDAL, J. Redução da Higroscopicidade de Pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções-modelo de açúcares Constituintes de Frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 163-173, 2005.

CASTILLO, Y. M.; LARES, M.; GUTIÉRREZ, R. H.; HERNÁNDEZ, M. S.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J. P. Bio active compounds of a caipalm fruit and the its impact on health. **Foods**, Sorocaba, v. 12, n. 5, p. 1-9, 2013.

CASTRO, C. A.; NATALI, A. J.; CARDOSO, L. M.; FERREIRA-MACHADO, A. B.; NOVELLO, A. A.; SILVA, K. A.; TAFURI, N. F.; MATTA, S. L.; PEDROSA, M. L.; PELUZIO, M. C. G. Aerobic exercise and not a diet supplemented with jussaraçai (*Euterpe edulis* Martius) alters hepatic oxidative and inflammatory biomarkers in ApoE-deficient mice. **British Journal of Nutrition**, México, v. 34, n. 4, p. 1-10, 2014.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M. L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: Review. **Food Chemistry**, Reading, v. 113, n. 4, p. 859-871, 2009.

CERBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, London, v. 111, n. 8, p. 360- 365, 2012.

CHEN, X. D.; PATEL, K. C. Manufacturing best after food quality spray drying and subsequent treatments. **Drying Technology**. New York, v. 26, n. 11, p. 1313-1318, 2008.

CLEMENTE, E. ; FLORES, A. C.; ROSA, C. I. L. F.; OLIVEIRA, D. M. Características da farinha de resíduos do processamento de laranja. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 14, n. 2, 257-269, 2012.

COHEN, K. O.; OLIVEIRA, M. S. P.; CHISTÉ, R. C.; PLLET, J. P. D.; MONTE, D. C. Content total anthocyanins of açai pulp of several populations of açai palm quantification. **Empresa Brasileira de Pesquisa** (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento). Belém. 15 p. 2006.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Brasília, Conjuntura mensal setembro de 2014**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_17_37_58_acaidezembro.pdf>. Acesso em: 03/ 12/ 2015.

EZHILARASI, P. N.; INDRANI, D.; JENA, B. S.; ANANDHARAMKRISHNAN, C. Freeze drying technique for microencapsulation of garcinia fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**, London, v. 117, n. 4, p. 513-520, 2013.

ELLEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O.; BESBES, S.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: Review. **Food Chemistry**, Barking, v. 124, n. 2, p. 411- 421, 2011.

FDA.FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2002.**Bacteriological analytical manual**. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/~eban/ban-4html>. Acesso em: 20/004/2014.

FREGONESI, B. M.; YOKOSAWA, E. C.; OKADA, I. A.; MASSAFERA, G.; BRAGA, T. M. C.; PRADO, S. P. T. Polpa de açaí congelada: características nutricionais, físico-químicas, microscópicas e avaliação da rotulagem. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 3, p. 387-95, 2010.

GARZÓN, G.A.; NARVÁEZ, C. E.; RIEDL, K.M.; SCHWARTZ, S.J. Chemical composition, anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant activity to wild blueberry (*Vaccinium meridionale Swartz*) Colombia. **Food Chemistry**, Reading, v. 122, n. 4, p. 980-986, 2010.

GUERRA, J.F. C.; ABREU, I.C.M.E.; SAMPAIO, A.F.S.; SILVA, M.E; PEDROSA, M.L. Capacidade antioxidante de polpas congeladas de frutas tipicamente brasileiras. **Revista Horizonte Científico**, Belo Horizonte, v. 7, n. 3, p. 54, 2013.

GORDON, A.; CRUZ, A. P. G.; CABRAL, L. M. C.; FREITAS, S. C.; TAXI, C. M. A. D.; DONANGELO, C. M.; MATTIETTO, R. A.; FRIEDRICH, M.; MATTA, V. M.; MARX, F. Chemical characterization and evaluation of the antioxidant properties of fruit açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) During the ripening. **Food Chemistry**, Barking, v. 133, n. 2, p. 256-263, 2012.

HARNKARNSUJARIT, N.; CHAROENREIN, S. Effect of water activity in the crystallization of sugar and β -carotene stability of the lyophilized powder sleeve. **Journal of Food Engineering**, London, v. 105, n. 4, p. 592-598, 2011.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 6, p. 1841-1856, 2005.

IAL-INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=45 >acesso em: 25/09/2015.

ICC-INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Rapid pasting method using the newport rapid viscoanalyser**. Vienna, 1995. 10 p. (Standard, 162).

KASAPIS, S. Recent advances and future challenges in the explanation and operation of the network of glass transition / high sugar mixtures of biopolymers. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 48, n. 2, p. 185-203, 2008.

KANG, J.; THAKALI, K. M.; XIE, C.; KONDO, M.; TONG, Y.; JENSEN, G.; MEDINA, M. B.; SCHAUSS, A. G. .; WU, X. Bioactivities of açaí (*Euterpe Precatoria* mart.)Fruit pulp, antioxidants and anti- inflammatory properties higher at euterpe oleracea Mart. **FoodChemistry**, Barking, v. 133, n. 3, p. 671-677, 2012.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1283-1287, 2006.

LAGO, E. S.; GOMES, E.; SILVA, R.Produção de geléia de jambolão (syzygiumcumini lamark): processamento, parâmetros físico – químicos e avaliação sensorial. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n.4, p. 847-852, 2006.

LOUBES, M. A.; TOLABA, M. P. Thermo-mechanical rice flour modification by planetary ball milling. **LWT - Food Science and Technology**. Amsterdam. v. 57, n. 1. p. 320- 328, 2014.

MELO, N. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. A. G.; Nascimento, R. J. Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 44, n. 2, p. 194- 201, 2008.

MENEZES, E. M. S.; TORRE, A. T.; SRUR, A. U.Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*Mart) liofilizada. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n.2, p. 311 – 316 2008.

MILLER G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, p. 426, 1959.

MORAES, O. J.; PERTUZATTI, P. B.; CORRÊA, F. V.; SALAS-MELLADO, M. D. L. M. Estudo do mirtilo (*Vacciniumashei* Reade) no processamento de produtos alimentícios. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n. 6, p. 1-5, 2007.

MOURA, L. S. M.; ASCHERI, J. L. R. Propriedades de pasta de farinhas mistas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 24, n. 1, p. 101-113, 2013.

MUSINGARABWI, D. M.; NIEUWOUDT, H. H.; YOUNG, P. R.;EYÉGHÈ-BICKONG, H. A.; VIVIER, M. A. Qualitative and quantitative rapid rrsessment of the grapes in various stages of development using Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate data analysis. **Food Chemistry**. Barking, v. 190, n. 5, p. 253-262, 2016.

NARA, S., KOMIYA, T., Studies on the relationship between water-satured state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/Starke**, Glasgow, v. 35, n.12, p. 407–410, 1983.

NÚÑEZ-SÁNCHEZ, N.; MARTÍNEZ-MARÍN, A. L.; POLVILHO, O.; FERNÁNDEZ-CABANÁZ, V. M.; CARRIZOSA, J.; URRUTIA, B.; SERRADILLA, J. M. NEAR infrared

spectroscopy (nirs) for the determination of the milk fat fatty acid profile of goats. **Food Chemistry**, Barking, v. 190, n. 1, p. 244-252, 2016.

NASCIMENTO, R. J. S.; COURI S.; ANTONIASSI R.; FREITAS, S.P. Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 30, n. 2, p. 498-502, 2008.

OZAKI, L. K.; AGUIAR, J. P. L.; FILHO, D. F. S.; YUYAMA, K.; VAREJAO, M. J.; FÁVARO, D. I. T.; VASCONCELOS, M. B. A.; PIMENTEL, S. A.; CARUSO, M. S. F. Caracterização físico-química do suco de açaí (*Euterpe precatoria* Mart). Oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **Acta amazônica**, Manaus, v. 41, n. 4, p. 2011.

OLIVEIRA, M. S. P, FARIAS, N. J. T, Pena R. S. **Açaí: técnicas de cultivo e processamento**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2007. 104p.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, refractance window-dried and hot-air dried açaí (*euterpe oleraceamartius*) juice. **Food Science and Technology**. Amsterdan, v. 48, n. 1, p. 75-81, 2012.

PEREIRA, M. C. S.; TEIXEIRA, J.A.; JÚNIOR, V. A. P.; STEFANI, R. The Chitosan/corn mixture of starch films with *Brassica oleracea* extract (red cabbage) as hum visual indicator of deterioration of fish. **LWT-Food Science and Technology**, Amsterdan, v. 61, n. 1, p. 258-262, 2015.

POMPEU, D. R.; SILVA, E. M.; ROGEZ, H. Optimisation of the solvent extraction of phenolic antioxidants from fruits of *Euterpe oleracea* using response surface methodology. **Bioresource Technology**, New York, v. 100, n. 3, p. 6076-6082, 2009.

QUINA, F. H.; FREITAS, A. A. **Reatividade químicas e fotoquímicas de antocianinas em sistemas organizados**. São Paulo: Instituto de Química da USP; 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/>>. Acesso em 15/12/2015.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n.4, p. 755-760, 2006.

RIBEIRO, E.P; SEVARALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2ed. São Paulo: Blucher, 2007. 196 p.

ROCHA, F. J. G. **Avaliação da cor e da atividade antioxidante da polpa de do extrato de mirtilo (*Vacciniummyrtillus*) em pó**. 2009.93f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

ROGEZ, H., D. R. POMPEU, S.N. T., AKWIE, Y. LARONDELLE. Sigmoidal kinetics of anthocyanin accumulation during fruit ripening: a comparison between açaí fruits (*Euterpe oleracea*) and other anthocyaninrich fruits. **Journal of Food Compositionand Analysis**, San Diego, v. 24, n. 3, p. 796-800, 2011.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from brazil. **Food Chemistry**, Barking, V. 121, N. 4, P. 996-1002, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH**. Fortaleza (CE): Embrapa, 2007. (Comunicado técnico 127).

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; MELO FILHO, A. B. Polpa de fruta congelada: efeito do processamento sobre o conteúdo de fibra alimentar. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 303-308, 1999.

SANABRIA, N.; SANGRONIS, E. Caracterización del acai o manaca (*Euterpe oleracea* Mart.): Un fruto del Amazonas. **Archivos Latino americanos de Nutrición**, Caracas, v. 57, n.1, p.1-6, 2007.

SANTOS G M.; SOUSA, P. H. M.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W. ; PRADO, G. M. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Archivos Latino americanos de Nutricion**, Caracas, v. 58, n.2, p.187-192, 2008.

SCHAUS, A. G.; WU, X.; PRIOR, R. L.; OU, B.; PATEL, D.; HUANG, D.; KABABICK, J. P. Phytochemical and nutrient composition of the freeze- dried Amazonian Palm Berry, *Euterpe oleracea* Mart. (açaí). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 6, p. 8598-8603, 2006.

SHIROMA, C.; RODRIGUEZ-SAONA, L. NIR and MIR spectroscopy application no chips quality control. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 22, n. 6, p. 596-605, 2009.

SILVA, M. A.; SOBRAL, P.J. A.; KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of lyophilized camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mark Vaughn) pulp with and without addition of maltodextrin. **Journal of Food Engineering**, London, v. 77, n. 3, p. 426-432, 2006.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic - phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Daves, v. 20, n. 2, p. 144-158, 1965.

SOUZA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de resíduo de popa de frutas tropicais. **Brasilian Journal Food and Tecnology**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 202-210, 2011.

SOUZA, C. O.; SILVA, L. T.; DRUZIAN, J. I. Estudo comparativo da caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo polpas de manga e de acerola. **Quimica Nova**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 262-267, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4. ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates Inc., 2006.

- TARANTILIS, P. A.; TROIANOU, V. E.; PAPPAS, C. S.; KOTSERIDIS, Y. S.; POLISSIOU, M. G. The differentiation of Greek red wines based on caste attenuated using Fourier transform of the total reflectance infrared spectroscopy. **Food Chemistry**. Barking, v. 111, n. 1. P. 192- 196, 2008.
- THAKURA, G.; MITRA, A.; BASAK, A.; SHEET, D. Characterization and scanning electron microscopic investigation of crosslinked freeze dried gelatin matrices for study of drug diffusivity and release kinetics. **Micron**, New York, v. 43, n. 2-3, p. 311–320, 2012.
- TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. The water absorption and the transition temperature of the spray -dried açaí glass (*Euterpe oleracea Mart.*) Juice. **Journal of Food Engineering**. London, v. 94, n. 3, p. 215-221, 2009.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUMBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Revista Inclusão Social**, Brasília, v. 6, n. 2, p.70-76, 2013.
- TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M. Propriedades de pasta e térmicas de misturas instantâneas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n.4, p.50-71, 2010.
- UCHOA, A.; COSTA J. M. C.; MAIA, G. A.; SILVA, E. M. C.; CARVALHO, A. F. F. U.; MEIRA, T. R. Parâmetros físico-químicos, teor de fibra bruta e alimentar de pós alimentícios obtidos de resíduos de frutas tropicais. **Revista de Segurança Alimentar e Nutrição**, Campinas, v, 15, n. 2, p. 58-65, 2008.
- UNICAMP-UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 2ed. Campinas, 2006.Disponível em:
<http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada>. Acesso em: 9/12/2015.
- VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 50-58, 2012.
- VODA, A.; HOMAN, N.; WITEH, M.; DUIJSTER, A.; DALEN, G. V.; SMAN, R. D.; NIJSSE, J.; VLIET, L. V.; AS, H. V.; DUYNHOVEN. The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. **Food Research International**, v. 49, n. 2, p. 687-693, 2012.
- WEBER, F. R.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.4, p.748-753, 2009.
- WROLSTAD, R. E. **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: John Wiley & Sons, Unit. F1.2, 2001, p. 1-13.
- YAMAGUCHI, K.K.D.L.; PEREIRA, L. F.R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E.S.; VEIGA-JUNIOR, V.F. Amazon Açaí: atividades de química e biológicas: Reviw. **FoodChemistry**, Barking, v. 179, n. 7, p. 137-151, 2015.

YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J. P. L.; FILHO, D.F. S.; YUYAMA, K.; VAREJÃO, M. J.; FÁVARO, D. I. T.; VASCONCELLOS, M. B. A.; PIMENTEL, S. A.; CARUSO, M. S. F. Caracterização físico-química do suco de açaí de *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **ACTA Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 4, p. 545–552, 2011.

ZAVAREZE, E. R.; HALAL, S. L. M.; PEREIRA, J. M.; RADÜNZ, A. L.; ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 1, p. 24-30, 2009.

CAPÍTULO 4

EFFECTS OF LYOPHILIZED AÇAÍ PULP (EUTERPE OLERACEAE) AND BROKEN GRAINS OF RICE ON BREAKFAST CEREAL QUALITY

Aryane Ribeiro Oliveria^a, Alline Emannuele Chaves Ribeiro,^a Marina Costa Garcia^a, Keyla de Oliveira Ribeiro^a, Márcio Caliarí^a,* Manoel Soares Soares Júnior^a

^a Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Campus Samambaia, Rod. Goiânia/Nova Veneza, KM 0, 74690-900 Goiânia, GO, Brazil. e-mail: oli.aryane@outlook.com, allineribeiroqi@gmail.com, marinacosta16@gmail.com, keyla.ribeiro@gmail.com, mssoaresjr@hotmail.com; macaliari@ig.com.br

* Corresponding author. Phone: 556235211611, fax:556235211600, e-mail:macaliari@ig.com.br

Highlights

The breakfast cereals obtained have high added value

The breakfast cereal obtained is rich in total dietary fiber and phenolic compounds

Rice- and açaí-based breakfast cereal has heightened sensory acceptance

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of substituting broken grains of rice (BGR) for lyophilized açaí pulp (LAP) on the total dietary fiber content, physical and microbiological quality, and sensory acceptance of the experimental breakfast cereals, in addition to evaluating the centesimal composition and bioactive compounds of the selected breakfast cereal. An entirely randomized design, with five treatments (0, 5, 10, 15, and 20% substitution of BGR for LAP), and univariate and multivariate regression analyses were used. Addition of LAP significantly ($p < 0.01$) influenced all physical parameters of the breakfast cereals, mainly hardness, specific volume, and expansion index, and the total dietary fiber. Breakfast cereal with 15% addition of lyophilized açaí pulp demonstrated better sensory acceptance in relation to the flavor and purchase intention. Breakfast cereal selected through

multivariate analysis, with 15% substitution of BGR for LAP, presented elevated values of dietary fiber (9.16 mg 100 g⁻¹), phenolic compounds (124.50 mg 100 g⁻¹), energetic value (1606.56 kJ 100 g⁻¹), and anthocyanins (15.21 mg Eq cyanidin-3-glycoside 100 g⁻¹). It is feasible to produce breakfast cereal from broken rice grain and lyophilized açaí pulp since the product showed sensory acceptance, in addition to high nutritional value and functional properties.

Keywords: by-product, color, texture, total dietary fiber, bioactive compounds.

4.1. Introduction

Broken rice grains constitute a by-product of rice processing and originate from the inadequate management of equipment or from factors inherent to the grain (misshapen or damaged). Representing 14% of production, broken rice grains constitute an economic problem for the rice industry and have low consumer acceptability (Setyawati et al., 2016). Broken rice grains can be efficiently processed through thermoplastic extrusion, which transforms the grains into products with higher added value (Carvalho et al., 2012).

Thermoplastic extrusion provides great advantages when compared with other systems, such as versatility, relatively low investment, high productivity, and environmental protection, decreasing environmental impact (Awolu, Oluwaferanmi, Fafowora & Oseyemi, 2015). In addition, it enables the production of convenience foods and new ingredients, like snacks, breakfast cereals, and pre-gelatinized flours, constituting an expanding process in the food industry (Godoy et al., 2015).

On the other hand, fruits, for the most part, present considerable natural antioxidant values, among them açaí (*Euterpe oleraceae*) (Portinho, Zimmermann & Bruck, 2012). Originating in the Brazilian Amazon estuary, açaí possesses high antioxidant potential, due to the presence

of bioactive compounds, in addition to a high amount of dietary fiber (30-32 g 100 g⁻¹ on a dry basis) (Fregonesi et al., 2010).

There are some technological scientific studies that use açai pulp in food products, in order to impart functionality characteristics, besides enriching industrialized products with fibers and proteins, such as cookies, ice creams, liqueurs, and nectars. However, no articles have yet been published on lyophilized açai pulp, nor on its use in extruded breakfast cereals.

The aim of this study was to evaluate the effect of substituting broken grains of rice (BGR) for lyophilized açai pulp (LAP) on the total dietary fiber content, physical and microbiological quality, and sensory acceptance of the experimental breakfast cereals, in addition to evaluating the centesimal composition and the bioactive compounds of the selected breakfast cereal.

4.2 RAW MATERIALS

Broken grains of rice (BGR) were provided by the industry Cristal Alimentos, located in Aparecida de Goiânia city, Goiás state, Brazil, while the açai pulp was acquired at the local market in São Luis city, Maranhão state, Brazil.

4.2.1 Açai pulp freeze-drying

Açai pulp was frozen at -40°C in a quick freezer (Cold Lab, CL347-80, Piracicaba, Brazil) and was then freeze-dried (*Liotop*, L101, São Carlos, Brazil). The processing lasted for 72h on average, at a pressure of 138 mmHg and a condenser temperature of -51°C. The lyophilized açai pulp (LAP) was crushed in an industrial blender, and passed through a sieve with 0.842 mm holes, to improve homogeneity. Then, the LAP was packed in low density polyethylene (LDPE) bags with metallized with aluminum, and stored in a freezer at -18°C.

4.2.2 Breakfast cereal processing

A completely randomized design was used to produce the breakfast cereals (BC), with five treatments (0, 5, 10, 15, and 20% substitution levels of BGR for LAP), and four original

replicates. The BGR coarse particles resembled those of corn grits, traditionally used to obtain convenience products obtained by extrusion. Therefore, the BGR were processed in the form that they would arrive in from the rice mill. Distilled water was added to the experimental mixtures until the final moisture reached $12.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Equation 6).

$$Y = (U_f - U_i) \times \frac{P}{100} - U_f \quad (\text{Equation 6})$$

Where: Y = amount of water to be added (mL); U_f = final moisture of the sample; U_i = initial moisture of the sample; P = mass of the sample.

The mixtures remained refrigerated for 24 h at 5°C to standardize the moisture. Breakfast cereals (BC) were extruded in a single screw type equipment (Imbramaq, PQ 30, Ribeirão Preto, Brazil), with a radial beam flexible coupling, 4 mm matrix diameter, and temperatures of 41°C , 61°C , and 84°C , for the the first, second, and third barrel zones, respectively. After extrusion, the products obtained were dried at 100°C in a forced circulation oven for 20 min, cooled at room temperature, and packed in LDPE bags. These bags were stored in a cool, dry place, until the physical analyses were performed. Before the sensory acceptance test, the BC was manually flavored by spraying with sugar syrup at 65°Brix (0.5 mL g^{-1}).

4.2.3 Physical characteristics

Instrumental color parameters were determined by a colorimeter (Banking Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA), calibrated with a white porcelain plate. Luminosity (L^*), chroma a^* , and chroma b^* parameters were obtained in three replicate samples of each treatment, and three readings per sample. Specific volume was determined by the occupied mass displacement method, using millet seed, in three replicate samples of each treatment, and ten replicates per sample. Expansion index was obtained by the ratio of the final extrudate diameter and the extruder matrix diameter. Ten samples of each replicate were randomly measured by using a digital caliper. The hardness was determined in a texturometer (*Stable Micro Sistem*, TA HD Plus, Godalming, UK), with a distance of 60 mm covered by the probe

HDP/KS10 (10 Blade Kramer), and pre-test, test, and post-test speeds of 1 mm s⁻¹, 0.5 mm s⁻¹, and 10 mm s⁻¹, respectively. The hardness product value of 20 g expressed in Newton (N) was obtained by the arithmetic mean of three determinations per replicate, according to the equipment manual.

4.2.4 Total dietary fiber

Samples degreased with petroleum ether P.A. in Soxlet equipment were used to determine the total dietary fiber content, by the enzyme-gravimetric method, according to the recommendations of AOAC (2012).

4.2.5 Scanning electron microscopy

After vacuum dehydration, the samples were placed in aluminum supports (stubs), covered with gold foil, and observed under the scanning electron microscope (SEM) (Jeol, JSM – 6610, São Paulo, Brazil). SEM images were performed with zooms of 25 and 30 times.

4.2.6 Microbiological risk and sensory acceptance

Salmonella spp., the counts of mold and yeast, *Bacillus cereus*, and *Coliformes* at 45°C followed the parameters of the Food and Drug Administration (FDA, 2002), and the data obtained were compared to the standards established by the legislation (Brasil, 2001).

Acceptance test, performed by 50 untrained tasters, of both genders, and in the age range of 18 to 34 years, adopted the structured hedonic scale of nine points (9 like extremely, 5 neither like nor dislike, and 1 dislike extremely) (Stone, Bleibaum & Thomas, 2012). Sensory attributes (appearance, color, flavor, aroma, and crunchiness) were determined, in addition to purchase intention, for this, the scale used was five points (5= definitely buy and 1= definitely not buy). Sensory test was performed in a laboratory, the samples were coded with three digits in a random order, and they were also served in a random order on disposable plates accompanied by mineral water. Sensory analysis was approved by the Research Ethics Committee (Approval nº 42996715.6.0000.5083).

4.2.7 Data evaluation and selection of best breakfast cereal

The effects of the substitution level of BGR for LAP were evaluated by variance and regression analyses. Pearson correlations and multivariate analysis by Principal Components Analysis (PCA) were also determined for the treatments containing lyophilized açai pulp (5, 10, 15, and 20%), by using the app R (R Development Core Team, 2015). The treatments were arranged in lines, and the descriptive attributes, followed by the sensory scores were arranged in a column, forming the matrix submitted to PCA. Through the multivariate analysis, the most desirable BC was selected, and for this the centesimal composition (moisture, ashes, protein, lipids, total dietary fiber, and total carbohydrates), total energetic value, anthocyanin contents, and total phenolic contents were determined, in addition to the antioxidant activity (averages and standard deviation).

4.2.8 Chemical composition and total energetic value

The moisture was assessed by desiccation at 105°C in a stove with air circulation until constant weight. The ashes were obtained by weighing after incineration at 550°C in a muffle furnace. Nitrogen content was determined by the micro-Kjeldahl method, which multiplied by the factor 6.25 resulted in the estimation of the crude protein content. Lipids were extracted with petroleum ether P.A in Soxhlet equipment. To obtain the total dietary fiber content, a degreased sample extracted from Soxhlet was used, following the enzymatic-gravimetric method. Total carbohydrate content was calculated by the difference between 100 and the sum of the percentages of water, protein, total lipids, and ashes. Total energy value was calculated by multiplying the mass (g) of digestible carbohydrates and proteins by 4 and multiplying the mass (g) of the lipids by 9, and the value obtained in kcal 100 g⁻¹ was transformed to kJ 100 g⁻¹. All the analyses were performed in three samples in triplicate, according to the methods recommended by the AOAC (2012).

4.2.9 Antioxidant activity and bioactive compounds

Method of capturing radicals DPPH• (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) was used to determine the antioxidant activity, according to the methodology described by Rufino et al. (2007). Determination of the total phenolic compounds was carried out by the Folin-Ciocalteu method, as described by Singleton and Rossi (1965), and the total monomeric anthocyanin content was determined by the pH differential method (Wrolstad, 2001).

4.3 RESULTS AND DISCUSSION

4.3.1 Total dietary fiber and physical properties (univariate analysis)

There was significant variation ($p < 0.01$) of all physical-chemical parameters of the breakfast cereals due to the substitution level of BGR for LAP (Table 4.1).

Table 4.1. Mean of the experimental data of expansion index (EI), specific volume (SV), color coordinates (luminosity “L”, value “a*” and value “b*”) of the extrusions in different proportions of LAP in substitution to the BGR.

Treatment	EI ¹	SV ¹	L ¹	a* ¹	b* ¹	Hardness ¹
0%	3.75 ^a ±0.04	14.94 ^a ±0.18	78.57 ^a ±0.49	7.11 ^c ±0.20	19.3 ^a ±0.69	103.32 ^a ±1.19
5%	3.81 ^a ±0.05	14.85 ^a ±0.08	55.23 ^b ±0.22	10.65 ^a ±0.28	15.23 ^b ±0.35	38.63 ^e ±1.70
10%	3.69 ^a ±0.06	13.18 ^b ±0.51	47.5 ^c ±0.10	10.01 ^b ±0.20	8.55 ^c ±0.09	47.62 ^d ±2.24
15%	3.22 ^b ±0.04	10.97 ^c ±0.21	41.76 ^d ±0.43	9.81 ^b ±0.04	6.18 ^d ±0.04	64.25 ^c ±0.36
20%	3.09 ^c ±0.08	11.36 ^c ±0.23	40.41 ^e ±0.16	8.41 ^d ±0.04	2.91 ^e ±0.01	89.60 ^b ±1.69
Commercial	-	10.69±0.14	47.81±0.22	14.25±0.17	18.35±0.56	77.87±0.48

¹ Means followed by standard deviation of three replicates in triplicate; Means followed by the same letter in each column did not differ statistically by the Tuckey test at 5% probability of error; EI= expansion index; SV= specific volume (mL g⁻¹); Hardness (N).

The regression models of all physical-chemical parameters were also significant ($p < 0.01$), explaining 90 to 99% of the responses (Table 4.2).

Tabela 4.2. Models adjusted and coefficient of determination R^2 for expansion index, specific volume, color coordinates (luminosity, value "a" and value "b") and hardness of extrudates based on broken rice grains and lyophilized açai pulp.

Physical parameter	Model	R^2_{aj}	p
EI	$y = 3.74 + 0.0526x - 79x^2 + 0.0002x^3$	0.96	0.000000
SV	$y = 14.91 + 0.354x - 0.082x^2 + 0.003$	0.97	0.000000
L	$y = 78.34 - 6.036x + 0.356x^2 - 0.007x^3$	0.99	0.000000
a*	$y = 7.203 + 1.001x - 0.086x^2 + 0.002x^3$	0.90	0.000003
b*	$y = 19.65 - 1.174x + 0.017x^2$	0.98	0.000000
Hardness	$y = 19.58 + 12.52x - 1.65x^2 + 0.08x^3$	0.97	0.000000

The extrudates with 0, 5 and 10% of substitution of BGR by LAP obtained the greatest adjustments.

There was decrease in the values of the expansion index and of specific volume of breakfast cereals with the increase of the substitution of BGR for LAP. The gradual replacement of LAP to the broken grains of rice increased the total dietary fiber content of breakfast cereals (Table 4.1). Breakfast cereals with 20% LAP addition had fiber content 49.27% higher than the extruded breakfast cereals with no LAP, obtaining a significant regression model ($p < 0.01$) (Table 4.2).

There were significant negative correlations between total dietary fiber content and the expansion index ($r = -0.86$) and the specific volume ($r = -0.97$) of the breakfast cereals. This same effect was observed by Trombini, Leonel and Mischan (2013), evaluating the effects of

the gradual addition of passion fruit flour (rich in fibers) to cassava starch extrusion (rich in starch), where the highest value for specific volume (8.51 mL g^{-1}) was found in the treatment that had no added fiber.

The degree of expansion and the specific volume are directly related to the composition of the raw material used. Therefore, the elevation of the fiber content (LAP) and the reduction of the starch content (BGR) interfere in the formation of the air cells, limit the gelatinization of the starch required for the expansion of the extrudate at its maximum potential, and result in lower expansion indexes and specific volume (Pai, Blake, Hamaker & Campanella, 2009).

Specific volume values of the breakfast cereal with 15% substitution of BGR for LAP were close to the values of commercial corn breakfast cereal analyzed (Table 4.1). This indicates its potential for commercialization.

There was a significant increase in the breakfast cereal hardness in the highest substitution levels of BGR for LAP. This can also be justified by the high fiber content present in the LAP, 20 and $30.9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Sanabria & Sangronis, 2007), and the low fiber value of the BGR, $2.67 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Nicoletti, Silva, Hecktheuer, Toledo & Gutkoski, 2007). The fiber content of the breakfast cereal showed positive correlation with the hardness of cereal ($r = 0.83$). When fibers are applied in extruded products, they can affect the hardness, since they interfere in air bubble formation and increase the thickness of the air cell walls, resulting in a harder product (Altan, McCarthy & Maskan, 2008b).

SEM images showed that the substitution of BGR for LAP produced breakfast cereals with denser, more compact walls with no indication of starch granules. Concavities formed by the air cells during the extrusion process can also be observed, causing an expansion of the mass (Fig. 4.1A, 4.1B, 4.1C, and 4.1D). Breakfast cereals with 15% and 20% substitution of BGR for LAP obtained hardness values closer to those obtained by the commercial corn breakfast

cereal analyzed (Table 4.1). The hardness values found in this study were lower than those found for different types of extruded products, comparing tests and similar probes (Paula & Conti-Silva, 2014). Other authors have studied the addition of fruit juices, pastes, powders, bagasse, peels, and seeds in extruded products, and they observed that the addition of these products and subproducts was promising, due to the enrichment of the products with dietetic fibers and bioactive compounds. However, the texture of these products is negatively influenced, since this parameter is directly linked to the cellular architecture and to the mechanical properties of the cell wall (Altan, McCarthy & Maskan, 2008a; Stojceska, Ainsworth, Plunkett & Ibanoglu, 2010).

All the breakfast cereals differed in regard to the luminosity, chroma a^* and chroma b^* (Table 4.1). The luminosity and chroma b^* decreasing with the increase in the substitution level of BGR for LAP (Table 4.2). Among the breakfast cereals with LAP, the same tendency was also verified for chroma a^* . Therefore, the breakfast cereal color darkened, becoming less reddish and yellowish (Fig. 4.1E). This could be explained by the fact that the LAP has high anthocyanin content, which is responsible for the dark color of this raw material (Menezes, Torres & Srur, 2008).

Total dietary fiber content presented negative correlations with Luminosity ($r = -0.98$), chroma a^* ($r = -0.77$) and chroma b^* ($r = -0.95$) of breakfast cereals. This is due to the fact that the breakfast cereal fiber content is highly related to the LAP composition (rich in fiber and pigments), which gradually increased in each treatment. The decrease in luminosity was also observed by Altan, McCarthy and Maskan (2008a) during the production of snacks based on barley and grape bagasse. According to the authors, the reduction of the extrudate luminosity with the elevation of grape bagasse is related to the darkening reactions of the sugars present in the raw material (caramelization and Maillard reaction), as well as the pigments present in the raw material.

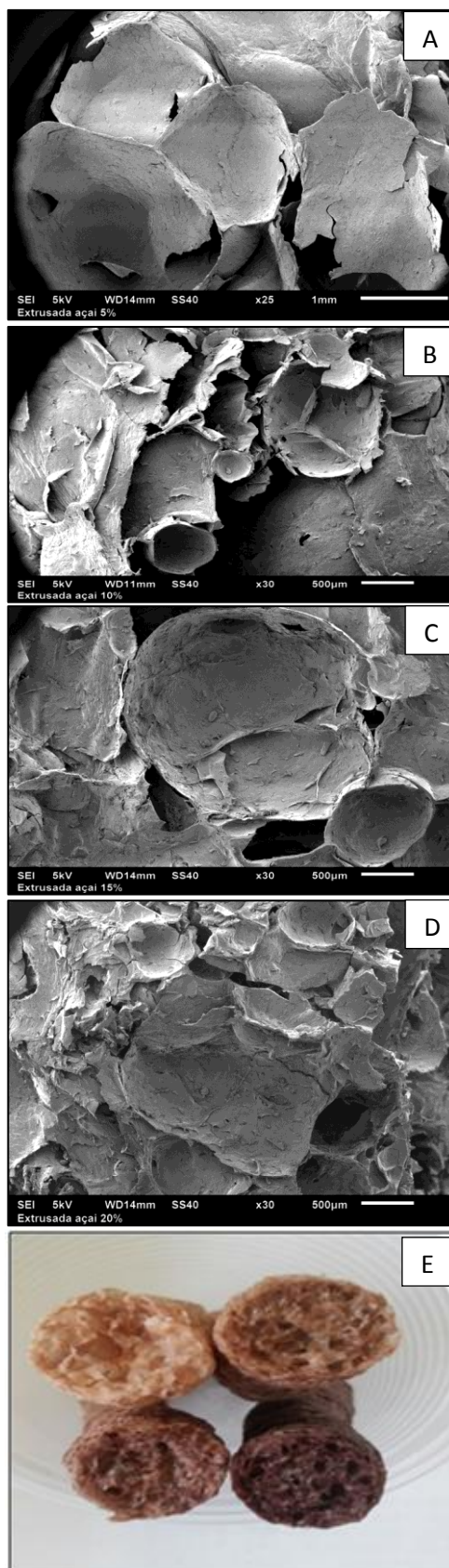


Fig. 4.1 SEM images (A: 5%, B: 10%, C: 15%, D: 20%) of extrudates of BGR with different levels of substitution of BGR with lyophilized açai pulp. E: Image of extrusions obtained with 5%, 10%, 15% and 20% of flour from broken rice grains substitution by lyophilized açai pulp (from top to bottom and from left to right, respectively).

4.3.2 Microbiological risk and sensory acceptance

The values found in the breakfast cereals for thermotolerant coliforms (absence) were inferior to those established by the breakfast cereals and extruded products (Brasil, 2001). *Salmonella* spp., molds, yeasts, and *Bacillus cereus* were also not detected in the breakfast cereals, probably due to the temperature used during the extrusion process. Therefore, the product was considered safe for the consumer, also indicating the good hygienic conditions while obtaining the raw material and processing the breakfast cereals.

The average scores for aroma, flavor, and crunchiness did not differ among the treatments (Table 4.3). The breakfast cereals with 5 and 10% substitution of BGR for LAP obtained the lowest scores for appearance and color, which can be explained by the fact that they presented less characteristics of the color and appearance of açai compared to the other treatments with higher proportions of LAP.

Tabela 4.3. Mean scores ($\pm$ standard deviation) attributed by tasters for sensorial acceptance of breakfast cereal with different levels of substitution of broken rice grains (BRG) by lyophilized açai pulp (LAP).

Attribute	Levels of substitution BRG to LAP (%)			
	5	10	15	20
Appearance	5.86 ^c $\pm$ 1.57	6.36 ^{bc} $\pm$ 1.71	7.16 ^a $\pm$ 1.62	6.82 ^{ab} $\pm$ 1.87
Color	5.36 ^b $\pm$ 1.66	5.92 ^b $\pm$ 1.76	7.18 ^a $\pm$ 1.53	7.02 ^a $\pm$ 1.65
Aroma	6.80 ^a $\pm$ 1.60	6.80 ^a $\pm$ 1.63	7.16 ^a $\pm$ 1.41	7.16 ^a $\pm$ 1.66
Flavor	6.20 ^a $\pm$ 2.00	6.30 ^a $\pm$ 1.91	6.46 ^a $\pm$ 1.90	6.28 ^a $\pm$ 2.11
Crunchiness	7.50 ^a $\pm$ 1.55	7.52 ^a $\pm$ 1.48	7.82 ^a $\pm$ 1.45	7.74 ^a $\pm$ 1.46

The results are presented as mean $\pm$ SD; Different letters in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$) by the Tukey test; Hedonic classification, 1 = very disagree, 9 = I liked it very much.

The breakfast cereal with 15% substitution of BGR for LAP obtained higher scores in all attributes, between like slightly (6) and like very much (8). There was a high positive correlation between appearance and color ($r = 0.99$), indicating that these two attributes were the fundamental factors in choosing the product, influencing the visual and sensory appeal.

The breakfast cereal with 15% LAP substitution obtained 28.84% of the tasters attributing a score of 4, which corresponds to the score “possibly would buy.” This treatment obtained the best acceptance in regard to purchase intention and crunchiness being highly correlated ($r = 0.93$), demonstrating that crunchiness was the fundamental attribute to make the extrudates stand out regarding the purchase intention.

4.3.3 Principal components analysis (PCA) and selection of the best breakfast cereal

Only two principal components (PC) were necessary to explain ca.96% of the total variance (Fig. 4.2).

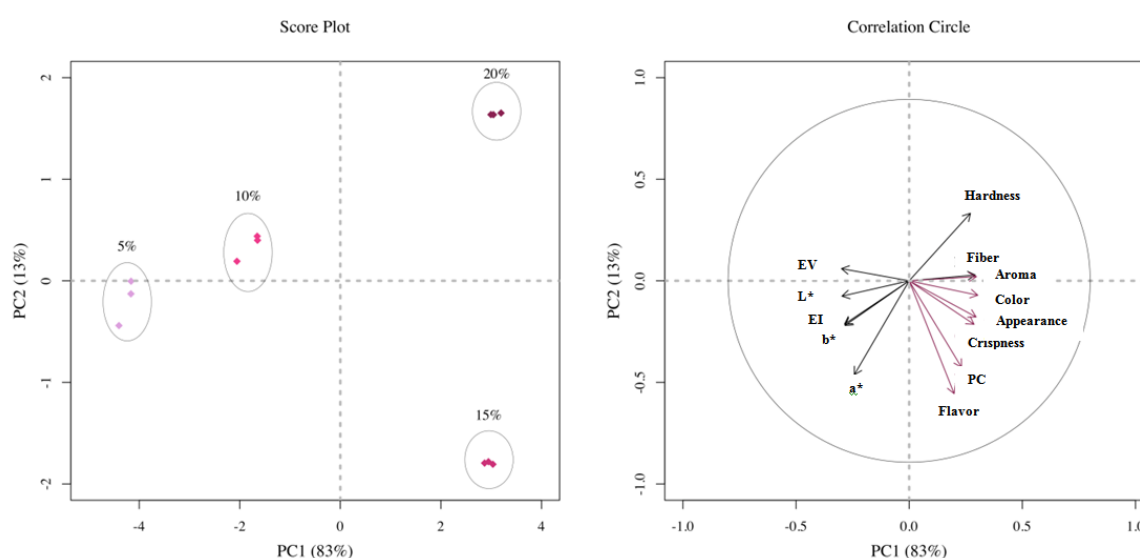


Fig. 4.2 Principal Component Analysis for four levels of substitution of broken rice grains (BRG) for lyophilized açai pulp (LAP) (5, 10, 15 and 20%) in relation to descriptive attributes (expansion index, specific volume, color parameters, hardness and total dietary fiber) and sensory scores (appearance, color, aroma, flavor, crispness and purchase intention).

The PC1 scores, which accumulated 83% of total variation, can be obtained by the equation 1, and the PC2 scores, which accumulated 13%, can be obtained by the equation 2. In these

equations, the variables x_1 - x_7 are, respectively, expansion index, specific volume, color parameters (luminosity, chroma a^* , and chroma b^*), hardness and total dietary fiber (descriptive variables), and x_8 - x_{13} are appearance, color, aroma, flavor, crunchiness, and purchase intention (sensory scores).

$$PC1 = -0.28x_1 - 0.299x_2 - 0.297x_3 - 0.242x_4 - 0.283x_5 + 0.271x_6 + 0.292x_7 \\ + 0.296x_8 + 0.303x_9 + 0.297x_{10} + 0.199x_{11} + 0.287x_{12} + 0.231x_{13}$$

(Equation 1)

$$PC2 = -0.213x_1 + 0.060x_2 - 0.075x_3 - 0.462x_4 - 0.220x_5 + 0.332x_6 + 0.029x_7 \\ - 0.179x_8 - 0.071x_9 + 0.021x_{10} - 0.555x_{11} - 0.214x_{12} - 0.425x_{13}$$

(Equation 2)

The descriptive and sensory variables presented similar weights in PC1, in another words, they are equally important in the explanation of 83% of the total variation and therefore indispensable in the characterization of this product. The correlation circle (Fig. 4.2) indicates that the variables with left arrows characterize the breakfast cereals with lower percentages of substitution of BGR for LAP (5 and 10%). Products with higher levels of substitution of BGR for LAP (10 and 15%) are characterized by the variables that point to the right of the circle. The multivariate analysis can be used to verify the positive correlation among the variables that are in the same direction and pointing backwards or forwards only and the negative correlation among those going backwards and forwards. Among the sensory attributes, flavor was what most influenced the taster to decide on his purchase intention, due to the strong correlation between the vectors (Fig. 4.2). The graphic representation of the PCA can be used to clearly verify that the addition of lyophilized açai to the extrudates increased the dietary fiber content and hardness, but decreased the expansion index, specific volume, and color parameters (Luminosity, chroma a^* , and chroma b^*).

Although the univariate analysis did not detect the discrimination of the formulation with 15% lyophilized açai pulp, it was possible to separate them from the rest in a single quadrant as the treatment with the best purchase intention associated with lesser hardness than the treatment with 20% LAP (Fig. 4.2). The sensory attribute arrows in the correlation circle point to the right and down, indicating that the formulation with 15% substitution of BGR for LAP obtained greater hedonic scores, mainly for the flavor and purchase intention. Therefore, the extrudates with 15% substitution of BGR for LAP presented better characteristics, with higher potential for commercialization.

4.3.4 Chemical composition, energy value, bioactive compounds and antioxidant capacity

The moisture of the selected breakfast cereal (SBC) (Table 4.4) conferred the stability and safety necessary for storing the product at room temperature. The lowest value found among the macronutrients was for ashes. The value found for the lipid content was lower compared with the reported values in the literature for extrudates based on rice and beans (3.2 to 5.3 g 100 g⁻¹) Soares Junior et al., 2011), and cassava and peach palm (13.06 to 14.65 g 100 g⁻¹) (Carvalho et al., 2012). The concentration of protein components in the SBC was considerable (Table 4.4), compared to the other breakfast cereals. Such substances are fundamental to the living organism because they produce a high variety of physiological functions, which is an attractive factor for the target audience (children and youth), since the set of amino acids that constitute the proteins is a key criterion to guarantee adequate nutrition (Shaheen, Islam, Munmun, Mohiduzzaman & Longvah, 2016).

A food rich in protein content and amino acids does not necessarily mean that it has a high indispensable amino acid content bioavailable, and is compatible with the individual need or is bioavailable. Therefore, information about the amino acid profiles, together with the protein quality in terms of its capacity to meet the needs of individual amino acids in the body is a key criterion to guarantee adequate amino acid nutrition for a population.

Table 4.4. Chemical composition, energetic value, bioactive compounds and antioxidant activity of breakfast cereals with LAP and BRG, on a dry basis.

Component	Value
Moisture	5.33±0.02
¹ Ash	0.71±0.06
¹ Protein	3.22±0.16
¹ Lipid	1.43±0.035
¹ Total dietary fiber	9.16±0.04
¹ Carbohydrate	94.64±0.19
² Energy value	404.17±0.44
³ Total phenolics compsts	124.50±0.34
⁴ Antocianins	15.21 ± 0.46
⁵ Antioxidant activity	10.53± 0.75

Mean of triplicate ± standard deviation; ¹ g 100 g⁻¹; ² kJ 100 g⁻¹; ³ mg gallic acid 100 g⁻¹; ⁴ mg cyanidin-3-glycoside 100 g⁻¹; ⁵ percentage of sequester organic radicals (%)

The SBC presented elevated total dietary fiber content (Table 4.4) and therefore can be considered rich in fiber. The choice of raw materials in the breakfast cereal elaboration has a major importance, since the raw materials influence the final nutritional value of the product. The elevated total dietary fiber content of the SBC was due to the lyophilized *açaí* pulp (Menezes, Torres & Srur, 2008). Breakfast cereal with fiber is of great interest in the health area, since this component is related to the prevention of certain diseases, such as diverticulitis, colon cancer, obesity, cardiovascular problems, and diabetes (Souza, Santos, Medeiros & Peixoto, 2015).

The carbohydrate content was quite expressive, since it was most responsible for the high energy value of the breakfast cereal (Table 4.4). The energy value remained within the range

reported by Reddy et al. (2014) (400.08 to 433.24 kcal 100 g⁻¹), who evaluated the physical-chemical and sensory properties of extrudates based on potatoes, yams, sweet potatoes, taro, and beets, which are flours rich in carbohydrates. This suggests that substituting BGR for LAP is viable from an energetic point of view, since it does not compromise the amount of calories in the breakfast cereal, considering various other extruded products, obtained with other raw materials.

The value of total phenolics in the SBC (Table 4.4) was higher than that presented by Queiroz, Soares, Capriles, Torres and Áreas (2009) for extruded amaranth (22.34 mg gallic acid 100 g⁻¹), on a dry basis. These authors justified the low value due to the extrusion process that, possibly, could have altered the structure of the total phenolic compounds of the raw material, causing higher susceptibility of these compounds to oxidation, which could also have occurred in this study.

In regard to the anthocyanins, the SBC presented a relatively low value in relation to LAP (15.21 mg cyanidin-3-glycoside 100 g⁻¹) considering the high concentration of this component in the LAP, 33.70 to 228.77 mg cyanidin-3-glycoside 100 g⁻¹ (Cohen, Oliveira, Chisté, Pallet & Monte, 2006). Probably due to the high temperature employed in the extrusion process, which ends up cleaving the glycosides bound to the anthocyanins and creating benzoic acids and aldehydes, implying the loss of its functional capacity (Patras, Brutnton, O'Donnel & Tiwari, 2010).

The SBC presented a relatively low capacity to sequester organic radicals DPPH (Table 4) compared to those reported by Norajit, Gu and Ryu (2011), who evaluated hemp extrudates based on rice flour, and obtained radical sequestration values that varied between 20% and 63.2%. Therefore, it is necessary to conduct further studies on the thermal instability and susceptibility of these compounds in order to guarantee that their properties and functionalities can be used in breakfast cereals.

4. Conclusion

The addition of LAP influenced all physical parameters of the breakfast cereals, mainly in the total dietary fiber, hardness, specific volume, and expansion index. In regard to the sensory attributes, the breakfast cereal with a 15% addition of lyophilized açai pulp obtained better sensory acceptance regarding the flavor and purchase intention. The breakfast cereal selected by multivariate analysis, with 15% substitution of BGR for LAP, presented elevated values of dietary fiber (9.16 mg 100 g⁻¹), phenolic compounds (124.50 mg 100 g⁻¹), energy value (1606.56 kJ 100 g⁻¹), and anthocyanins (15.21 mg Eq cyanidin-3-glycoside 100 g⁻¹). In conclusion, the production of breakfast cereal based on broken grains of rice and lyophilized açai pulp is feasible, since the product presented sensory acceptance, in addition to high nutritional value and functional properties.

References

- Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008a). Dual barley bagasse screw extrusion grape combines: extruded features and determination of optimal processing conditions. *Journal of Food Engineering*, 89, 24-32.
- Altan, A. K. L., McCarthy, & M. Maskan. (2008b). Evaluation of snack foods from barley–tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84, 231–242.
- Awolu, O. O., Oluwaferanmi, P. M., Fafowora, O. I., & Oseyemi, G. F. (2015). Optimization of the extrusion process for the production of ready-to-eat snack from rice, cassava and kersting's groundnut composite flours. *LWT-Food Science and Technology*, 64, 18-24.
- AOAC. (2012). Official methods of analysis (19th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- BRASIL. (2014). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF.

- 386 Carvalho, A. V., Mattietto, R. A., Bassinello, P. Z., Koakuzu, S. N., Rios, A. O., Maciel, R.
 387 A., et al.(2012). Processamento e caracterização de refeição matinal extrusada formulada com
 388 farinha de grãos quebrados de arroz e feijão. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, 32, 515-524.
- 389 Cohen, K. O., Oliveira, M. S. P., Chisté, R. C., Pallet, J. P. D., & Monte, D. C.
 390 (2006).Quantificação do teor de Antocianinas totais da polpa de açaí de diferentes populações
 391 de açaizeiro. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Belém (PA): *Embrapa*.
- 392 FDA. Food and Drug Administration, (2002). Bacteriological analytical manual.
 393 <http://www.cfsan.fda.gov/~eban/ban-4html/> Accessed 20.04.14.
- 394 Fregonesi, B. M., Yokosawa, C. E., Okada, I. A., Massafra, G., Braga, T. M., & Prado, S. P.
 395 T. (2010). Polpa de açaí congelada: características nutricionais, físico-químicas,
 396 microscópicas e avaliação da rotulagem. *Revista Adolfo Lutz*, 69, 387-95.
- 397 Godoy, R., Caliar, M., Soares Júnior, M. S., Silva, V. S. N.; Benassi, M. T., & Garcia, M. C.
 398 (2015). Quinoa and Rice Co-products Gluten Free-cereals: Physical, Chemical,
 399 Microbiological and Sensory Qualities. *Journal of Food and Nutrition Research*, 3, 599-606.
- 400 Menezes, E. M. S., Torres, A. T., & Srur, A. U. S. (2008). Valor nutricional da polpa de açaí
 401 (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. *ACTA Amazônica*, 38, 311-316.
- 402 Nicoletti, A.M., Silva, L. P., Hecktheuer, L. H., Toledo, G. S. P., & Gutkoski, L. C. (2007).
 403 Uso de subprodutos agroindustriais no desenvolvimento de macarrão nutricionalmente
 404 melhorado. *Alimentos e Nutrição*, 18, p. 421-429.
- 405 Norajit, K., Gu, B. J., Ryu, G. H. (2011). Effect of hemp powder on physico- chemical
 406 properties and qualities of rice energy bar extruded. *Food Chemistry*, 129, 1019-1925.
- 407 Pai, D. A., Blake, A. R., Hamaker, B. R., & Campanella, O. H. (2009). Importance of
 408 extensional rheological properties on fiber enriched corn extrudates. *Journal of Cereal*
 409 *Science*, London, 50, 227-234.

- 410 Patras, A., Brutnton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal
 411 processing on anthocyanun stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends*
 412 *in Food Science and Technology*, 21, 3-11.
- 413 Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory
 414 and instrumental analyzes in extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 121, 9-14.
- 415 Portinho, J. A., Zimmermann, L. M., & Bruck, M. R. (2012). Beneficial effects of Acai.
 416 *International Journal of Nutrology*, 5, 15-20.
- 417 Queiroz, Y. S., Soares, R. A. M., Capriles, V. D., Torres, E. A. F., & Áreas, J. A. G. (2009)
 418 Processing effect The antioxidant activity of amaranth grain (*Amaranthus cruentus* L. BRS-
 419 Joy). *ALAN - Arquivos Latinoamireicanos de Nutricion*, 59, 419-424.
- 420 Reddy, M. K., Kuna, A., Devi, N. L., Krishnaiah, N., Kaur, Charanjit., & Nagamalleswari, Y.
 421 (2014). Extruded development -a ready -Eat (TEN) Snacks corn using black grass , roots and
 422 tuberculosis flour mixtures . *Journal Food Science and Technology*, 51, 1929-1937.
- 423 R Development Core Team. (2015). R: A language and environment for statistical computing.
 424 Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.Rproject.org/>. Acessed
 425 01.08.15.
- 426 Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., & Pérez-Jiménez,
 427 J., et al. (2007). Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em
 428 Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. Fortaleza (CE): *Embrapa*. (Comunicado técnico
 429 127).
- 430 Sanabria, N., & Sangronis, E. (2007). Caracterización del acai o manaca (*Euterpe*
 431 *olerácea* Mart.): Un fruto del Amazonas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57, p.1-6.
- 432 Setyawati, Y. D., Setyawati, S. F., Ong, L. K., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Ju, Yi-Hsu.
 433 (2016). Rice flour production glutinous broken rice via assisted ultrasonic extraction amylose.
 434 *Food Chemistry*, 203, 158-164.

- 435 Shaheen, N., Islam, S., Munmun, S., Mohiduzzaman, Md., & Longvah, T. (2016). Aminoacid
436 profiles and digestible indispensable amino acid scores of proteins from the prioritized key
437 foods in bangladesh. *Food Chemistry*, 213, 83-89.
- 438 Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with
439 phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and*
440 *Viticulture*, 20, 144-158.
- 441 Soares Júnior, M. S., Santos, T. P. B., Pereira, G. F., Minafra, C. S., Caliari, M., & Silva, F.
442 A. (2011). Desenvolvimento de salgadinhos extrusados a partir de fragmentos de arroz e de
443 feijão. *Semina: Ciências Agrárias*, 32, 191-200.
- 444 Souza, A. M., Santos, E. E. S., Medeiros, L. A., & Peixoto, M. S. R. M. (2015). Avaliação da
445 rotulagem nutricional e teor de fibras alimentares de barras de cereais. *Revista Saúde Pública*,
446 8, 7-14.
- 447 Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanoglu, S. (2010). The advantage of using the
448 extrusion process to increase the dietary fiber level in gluten-free products. *Food Chemistry*,
449 2, 156-164.
- 450 Stone, H., Bleibaum, R., & Thomas, H. (2012). *Sensory evaluation practices*. (4th ed.). New
451 York: Academic Press.
- 452 Trombini, F. R. M., Leonel, M., & Mischon, M. M. (2013). Características físicas, reológicas
453 e sensorial de produtos extrusados de misturas de farinha de maracujá e fécula de mandioca.
454 *Ciência Rural*, 43, 1885- 1891.
- 455 Wrolstad, R. E. (2001). *Current protocols in food analytical chemistry*. New York: John
456 Wiley & Sons.

CAPÍTULO 5

INFLUENCIA DO PROCESSO DE EXTRUSÃO E DA PROPORÇÃO DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ E POLPA DE AÇAÍ LIOFILIZADA NA QUALIDADE FÍSICA, QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE FARINHAS MISTAS

RESUMO

O objetivo do estudo foi desenvolver farinhas pré-gelatinizadas em condições brandas de extrusão com diferentes substituições de polpa de açaí liofilizada (PAL) aos grãos quebrados de arroz (GQA) e investigar o efeito do processo de extrusão sob as propriedades físicas, químicas e funcionais da mistura. Cinco tratamentos (0, 5, 10, 15 e 20%) foram produzidos com diferentes níveis de substituição de GQA por PAL de acordo com um delineamento inteiramente casualizado. O processo de extrusão afetou as propriedades químicas e centesimais da mistura, acarretando em uma diminuição da umidade, lipídeos, fibras, valor energético, compostos fenólicos totais, propriedade antioxidante, antocianinas. Em contrapartida, houve um aumento do teor de carboidratos e proteínas após o processo de extrusão. O tratamento com 10% de PAL resultou em menor perda de antocianinas (27,16%), enquanto com 15 e 20% de PAL as perdas foram de 58,71 e 48, 2%, respectivamente. Os parâmetros instrumentais de cor também foram afetados pelo processo, afetando a intensidade da cor da farinha (C^*). Porém, o valor do ângulo Hue obteve um aumento nas farinhas pré-gelatinizadas tendendo a cor alaranjada-marrom. Os índices de absorção e solubilidade em água obtiveram aumento após a extrusão, porém o índice de absorção de óleo não apresentou diferenças significativas. A análise de DSC mostrou que a temperatura utilizada no processo foi suficiente para gelatinização do amido presente nas farinhas, não apresentando picos referente a esse fenômeno nas farinhas pré-gelatinizadas. As propriedades de pasta também foram afetadas pelo processo de extrusão obtendo farinhas pré-gelatinizadas com maiores viscosidade a frio e de pasta. Portanto, é possível concluir que o processo de extrusão afeta os componentes químicos, incluindo os compostos bioativos, as propriedades térmicas e de pasta das farinhas mistas de grãos quebrados de arroz e polpa de açaí liofilizada.

Palavras-chave: *Euterpe Oleraceae* Mart.; liofilização; extrusão; antocianinas; antioxidantes.

5.1 INTRODUÇÃO

Arroz quebrado é um subproduto da indústria arrozeira produzido durante o polimento normal dos grãos. Esse resíduo é rico em amido, e seu reaproveitamento na indústria se torna bastante interessante, visto que este pode ser utilizado como ingrediente de vários produtos alimentícios (TAVARES et al., 2012).

Dentre as várias opções de ingredientes, as farinhas mistas e misturas pré-gelatinizadas tornaram-se bastante oportunas e rentáveis. Pois, quando incorporadas a outros alimentos, tornar-os instantâneos ou semi-prontos, com propriedades funcionais específicas, além de manter seu alto valor nutricional (SALEH; MEULLENET, 2013).

A pré-gelatinização de farinhas pode ser feita através de extrusão termoplástica, técnica de processamento que utiliza alta temperatura e tempo curto, e confere aos produtos características químicas, estruturais e sensoriais diferenciadas. Além disso, uma farinha ou mistura obtida pelo processo de extrusão apresenta características de maiores solubilidade e viscosidade em água fria, podendo ser utilizadas como ingredientes de alimentos instantâneos, rápidos e práticos, inclusive em combinação com farinhas de frutas, visto que os alimentos extrusados tradicionais são considerados energéticos (CRUZ et al., 2015; JOZINOVIC et al., 2016), com qualidade nutricional limitada, pois possuem baixas quantidades de outros nutrientes e compostos bioativos.

Farinhas pré-gelatinizadas por extrusão a base de arroz são pobres em fibras, compostos fenólicos, antioxidantes e proteínas, apesar de ser boa fonte energética. Dessa forma, há necessidade de incorporá-la de novas fontes desses nutrientes, que possam enriquecer as farinhas extrusadas. A polpa de açaí é um fruto originário da Amazônia, e sua polpa considerada fonte de fibras, lipídeos, compostos biotativos, sais minerais e proteínas (RUFINO et al., 2011). No entanto, há uma preocupação na conservação dos nutrientes presentes na polpa de açaí que podem ser perdidos durante o processo de extrusão tais como: compostos fenólicos, antioxidantes e antocianinas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver farinhas pré-gelatinizadas em condições brandas de extrusão com diferentes substituições de polpa de açaí liofilizada aos grãos quebrados de arroz e avaliar o efeito do processo de extrusão sob as propriedades físicas, químicas e funcionais da mistura.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Matérias-primas

Na formulação das farinhas se utilizaram polpa de açaí e grãos quebrados de arroz (GQA). Estes foram gentilmente doados pela indústria Cristal Alimentos, situada em Aparecida de Goiânia - GO, enquanto a polpa de açaí congelada, proveniente do município Maioba - MA, foi adquirida no comércio local de São Luis - MA.

5.2.2 Preparo das matérias-primas

A estrutura grossa dos GQA se assemelha à dos gritz de milho, material tradicionalmente utilizado na fabricação de produtos extrusados, por isso foram utilizados da mesma forma que chegaram da indústria. A polpa de açaí, após descongelamento a 5°C por 12h, foi depositada em bandejas de aço inoxidável do liofilizador (*LIOTOP*, L101, São Carlos, Brasil), e congeladas em um congelador rápido (ColdLab, CL347-80, Piracicaba, Brasil), até a massa atingir -40°C. Em seguida, as placas com a polpa de açaí congelada foram transferidas para o liofilizador, e o vácuo foi acionado para que parte da água livre da polpa fosse sublimada. O processamento durou em média 72 h, a uma pressão de 138 mmHg, e temperatura do condensador de -51°C. A polpa de açaí liofilizada (PAL) foi moída em liquidificador industrial (Vitalmix, LQI-02, Catanduva, Brasil) e depois peneirada em peneira de 0,842 mm (20 mesh) para melhorar a homogeneidade, acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade, metalizado com alumínio para impedir a passagem da luz, e armazenada em freezer a -18°C.

5.2.3 Processamento das farinhas cruas pré-gelatinizadas

Delineamento inteiramente casualizado (DIC) foi utilizado para a produção das farinhas cruas e pré-gelatinizadas e, com cinco tratamentos ou proporções de GQA: FAL (100:0; 95:5; 90:10; 85:15; e 80:20), e quatro repetições originais, totalizando vinte amostras. As farinhas pré-gelatinizadas foram processadas em uma extrusora mono rosca (Imbramaq,

PQ 30, Ribeirão Preto, Brasil), com três zonas de aquecimento com temperatura da primeira, segunda e terceira zona de extrusão 41°C, 61°C, 84°C, respectivamente, camisa de extrusão estriada helicoidal, diâmetro da matriz de 4mm. Água destilada foi adicionada as misturas experimentais por meio de uma pipeta para atingir uma umidade final de 12,5 g 100 g⁻¹.

Após o processo de extrusão, os extrusados foram secos a 100°C em estufa de circulação forçada de ar por 20 min, e após o resfriamento a temperatura ambiente, moídos em um moinho de facas tipo ciclone (TE-65I/2, Piracicaba, Brasil). O material triturado passou em peneiras com orifícios com 0,250 mm de diâmetro, e foi embalado em sacos de polietileno de baixa densidade, selados e armazenados em local seco e fresco, até a realização das análises.

5.2.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Após desidratação à vácuo, a FAL foi colocada em suportes de alumínio (stubs) e recoberta com uma película de ouro no aparelho e observados no microscópio eletrônico de varredura –ME (Jeol, JSM – 6610, São Paulo, Brasil). As micrografias de superfície foram realizadas em aumentos de ordem de 1500x e 5000x.

5.2.2 Cor

Os parâmetros instrumentais de cor foram analisados através de colorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA). A partir das leituras dos parâmetros a* e b*, foram calculados a croma (saturação da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz) (Equações 1 e 2). Para a realização das leituras, as amostras foram colocadas em placas de petri.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Equação 1}$$

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Nas quais:

C* = cromaticidade;

H= ângulo Hue;

Tan⁻¹ = arco tangente

5.2.3 Solubilidade em água, absorção de água e de óleo

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado segundo Anderson et al. (1969). O valor de IAA foi calculado utilizando-se a Equação 3, e o resultado expresso em g de precipitado por g de matéria seca. O ISA foi calculado pela relação entre a massa do resíduo seco do sobrenadante (resíduo da evaporação) e da amostra, conforme Equação 4. Para a determinação do índice de absorção de óleo (IAO) a água foi substituída pelo óleo de soja. Após a centrifugação, o líquido sobrenadante de cada amostra foi descartado, deixando-se os tubos ligeiramente invertidos durante 1 min. O IAO foi obtido pela relação entre a massa do resíduo centrifugado pela amostra em base seca (Equação 5).

$$IAA = \frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso da amostra(bs)}} \quad \text{Equação 3}$$

$$ISA = \left\{ \left[\frac{PRE}{PA} \right] 3 \right\} 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$IAO = \frac{PRC}{PA} \quad \text{Equação 5}$$

Nas quais:

ISA = índice de absorção de água (g g⁻¹);

PRE= massa do resíduo da evaporação (g);

IAO = índice de absorção em óleo (g precipitado g de materia seca);

PRC = massa do resíduo da centrifugação (g);

PA = massa da amostra (g) (base seca).

5.2.4 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas da farinha liofilizada foram determinadas utilizando um calorímetro diferencial de varredura (*TA Instruments, Q20, New Castle, UK*), baseando-se na metodologia descrita por Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009). Amostras de 2 mg (b.s) foram pesadas em porta amostras de alumínio, próprios para o equipamento DSC. Água destilada (6µL) foi adicionada, e os porta amostras selados em prensa específica. Em seguida, os mesmos foram mantidos por 12h a temperatura ambiente, para uniformizar a distribuição da água. As amostras foram aquecidas de 35 a 100°C, com uma taxa de 10°C min⁻¹. Um porta-amostra de alumínio vazio foi utilizado como referência. As temperaturas de

gelatinização (inicial, pico e final), a variação de entalpia (ΔH) da polpa de açaí liofilizada durante aquecimento foram determinadas com auxílio do aplicativo TA Universal Anlysis (TA Instruments, New Castle, UK).

5.2.5 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram obtidas em equipamento Rapid Visco Analyser (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia) na concentração de 3,5 gpor 25 mL de água destilada. A programação “*Flour*” foi utilizada de acordo com a metodologia 162 propostas pela International Association for Cereal Science and Techonology (ICC, 1995) para misturas cruas onde as características de pasta avaliadas foram: viscosidade pasta (PV), viscosidade final (VF), viscosidade de quebra (VQ) ou *breakdown* e tendência à retrogradação (TR) ou *setback*, expressos na unidade do aparelho, rapid visco units (RVU). Para as farinhas pré-gelatinizadas a programação “*Extrusion 2*” para as misturas pré-gelatinizadas onde as características de pasta avaliadas foram: viscosidade de pico a frio (VI), viscosidade de pico a quente (VP), viscosidade final (VF), viscosidade de quebra (VQ) ou *breakdown* e tendência à retrogradação (TR) ou *setback*, expressos na unidade do aparelho, rapid visco units (RVU).

5.2.6 Composição centesimal

A umidade foi quantificada por dessecação a 105°C em estufa com circulação de ar até peso constante; as cinzas por pesagem após incineração a 550°C em forno mufla; o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6,25 resultou no teor de proteína bruta; e de lipídeos por extração com éter de petróleo P.A. em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra alimentar total foi utilizado amostra desengordurada da extração por Soxlet, seguindo método enzimico-gravimétrico. O teor de carboidratos foi calculado pela diferença entre 100 e a soma das porcentagens de água, proteína, lipídeos totais e cinzas O valor energético (kcal) calculado multiplicando o peso/g de carboidratos e proteínas por 4 e o peso/g dos lipídeos por 9. Todas as análises foram realizadas em três amostras em triplicata conforme AOAC (2012).

5.2.4 Capacidade antioxidante, compostos fenólicos e antocianinas

Foi utilizado o método de captura de radicais DPPH (2,2 difenil-1-picril-hidrazil) para determinação da capacidade antioxidante de acordo, com a metodologia descrita por Rufino et al. (2007). A análise de compostos fenólicos totais foi realizada pelo método de Folin - Ciocalteu, como descrito por Singleton e Rossi (1965), que se fundamenta na redução dos ácidos fosfomolibídico e fosfotungstístico na presença de formas fenólicas, com formação de complexos de coloração azul que absorvem fortemente entre 620 e 700 nm.

O conteúdo de antocianinas totais monoméricas foi determinado pelo método de pH diferencial (WROLSTAD, 2001), utilizando dois sistemas tampão: cloreto de potássio - ácido clorídrico pH 1,0 (0,025 M) e acetato de sódio pH 4,5 (0,4 M) em comprimento de onda de 510 e 700 nm.

5.2.5 Análise dos resultados

Os dados obtidos foram analisados por meio de análise de variância fatorial 5x2 (nível de substituição x farinha não extrusada e extrusada), com elaboração de modelos de regressão, e construção de gráficos para uma melhor visualização da influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes, utilizando-se o aplicativo *Statistica* (Statsoft, São Caetano do Sul, Brasil). As análises de propriedades térmicas e de pasta foram analisadas através do teste Tukey com 5% de significância. As análises das amostras foram feitas em triplicata.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Composição química

Comparando-se a composição centesimal dos dois produtos em estudo (mistura crua e mistura extrusada), pode-se afirmar que somente as cinzas não sofreram modificações após o processo de extrusão (Tabela 5.1). O processo de extrusão não afetou as cinzas, apesar da adição gradual de PAL nas farinhas ter contribuído para o seu aumento (Tabela 5.1, Figura

5.1A, Apêndices C.2.1, C.2.2, C.2.3 e C.2.4). No entanto, umidade, proteínas, lipídeos, fibra alimentar total, carboidratos, valor energético, compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante e antocianinas apresentaram mudanças, significativas ($p \leq 0,05$), tanto em relação à substituição dos GQA por PAL, quanto ao antes e depois do processo de extrusão. Todos os modelos de regressão foram significativos, e 88 a 99% das respostas foram explicadas (Tabelas 5.1 e 5.2, Figura 5.1).

Houve um decréscimo significativo ($p \leq 0,01$) da umidade com o aumento da substituição dos GQA por PAL, e diminuição após o processo de extrusão (Tabela 5.1, Figura 5.1B, Apêndice C.2.1). A perda de umidade das misturas após a extrusão era esperada (média de 59,24%), devido à vaporização da água na saída da matriz, com consequente expansão pela diferença de temperatura e pressão. Essa perda de umidade após o processo de extrusão pode variar, e isso vai depender da temperatura da última seção e da geometria da matriz (LIMBERGER et al., 2009).

Com o aumento do nível de substituição de GQA por PAL não houve aumento significativo no teor de proteínas entre as farinhas cruas e extrusadas, porém o processo de extrusão foi significativo ($p \leq 0,05$) para diferenciar as farinhas com 0% e 15% de substituição de GQA por PAL, havendo um aumento no teor de proteínas após a extrusão nesses tratamentos (Apêndice C.2.2, Tabelas 5.1 e 5.2, Figura 5.1C). A substituição de GQA por PAL na farinha crua aumentou do teor de lipídeos, porém houve uma diminuição desse componente na mistura após o processo de extrusão (Apêndices C.2.5 e C.2.6, Tabelas 5.1 e 5.2, Figura 5.1D).

Alguns autores explicam que esse fenômeno pode ser devido a interações entre componentes da mistura que podem ocorrer durante o processo de extrusão, tal como lipídeos e proteínas com formação de estruturas complexas, que dificultam sua detecção pelos métodos analíticos tradicionais (MAKKAR; FRANCIS; BECKER, 2008). O método utilizado para determinação de lipídeos, baseado na extração de solvente, não é capaz de desfazer esses complexos, implicando em menores valores desses componentes após o processo de extrusão (DORS; CASTIGLIONI; AUGUSTO-RUIZ, 2006).

A gradual substituição dos GQA por PAL na farinha crua levou ao aumento significativo ($p \leq 0,05$) no teor de fibra alimentar total, tanto nas misturas cruas quanto nas extrusadas (Apêndices C.2.7 e C.2.8, Figura 5.1F, Tabelas 5.1 e 5.2). O processo de extrusão afetou esse componente significativamente, com decréscimo em todos os tratamentos das misturas pré-gelatinizadas. Honcu et al. (2016), avaliaram o efeito da extrusão sobre o conteúdo e propriedades dos componentes da fibra alimentar em várias cultivares de cevada, e

também observaram uma diminuição do teor de fibra alimentar total após o processo de extrusão termoplástica, que pode ser devido a solubilização das fibras durante o processo.

Sobota et al. (2010) também relataram decréscimo na fibra alimentar total em farinhas mistas extrusadas de milho e trigo. Stojceska et al. (2010) afirmam que essa mudança após o processo de extrusão são devido às modificações estruturais que o processo acarreta em materiais alimentares, perturbando a estrutura e à determinação da fibra alimentar em vegetais extrusados. Com base na portaria nº 27 (BRASIL, 1998), do Ministério da Saúde, para um produto sólido ser considerado fonte e rica em fibras deve conter no mínimo 3 e 6 g de fibra 100 g do produto, respectivamente. Neste aspecto, todas as farinhas deste estudo elaboradas com PAL podem ser consideradas ricas em fibras.

O teor de carboidratos sofreu decréscimo significativo ($p < 0,05$) com a substituição dos GQA por PAL nas farinhas cruas e extrusadas (Apêndice C.2.9 e C.2.10, Figura 5.1G, Tabelas 5.1 e 5.2). Essa diminuição pode ser devido ao aumento dos demais componentes na mistura (cinzas, lipídeos, proteínas e fibra alimentar total). Porém, houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) dos carboidratos nas farinhas pré-gelatinizadas em relação a farinha crua, isso pode ser devido ao fato que os demais componentes analisados diminuíram após o processo de extrusão acarretando em uma maior concentração de carboidratos. A substituição dos GQA por PAL contribuiu para um aumento significativo (Apêndice C.2.11 e C.2.12, Figura 5.2A, Tabelas 5.1 e 5.2) do valor energético total. No entanto, esse valor foi reduzido após o processo de extrusão, o que pode ser devido ao fato de que, os componentes responsáveis pelo aumento desse valor (lipídeos e proteínas) apresentaram decréscimo relativamente alto após o processo de extrusão, implicando em um menor valor energético.

A análise de variância (Anova) mostrou que o modelo para compostos fenólicos totais foi significativo ($p \leq 0,05$) com a substituição dos GQA por PAL tanto nas misturas cruas como extrusadas. O coeficiente de correlação (R^2) variou de 98 a 99% para CFT e antioxidantes antes e após extrusão (Tabela 5.2), indicando um bom ajuste dos modelos aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas (Apêndices C.2.18 e C.2.19). A análise de variância foi significativa para antocianinas, porém não houve regressão significativa em nenhum modelo estatístico. A substituição dos GQA por PAL levou ao aumento do teor de CFT à mistura (Tabela 5.1, Figura 5.2B). Contudo, esses valores em suas respectivas concentrações decaíram significativamente ($p < 0,05$) após a mistura passar pelo processo de extrusão. O mesmo ocorreu com a capacidade antioxidante e o teor de antocianinas, que obtiveram valores expressivos antes da extrusão, porém decaíram após o processamento (Figura 5.2C e 5.2D, Tabelas 5.1 e 5.2).

Tabela 5.1. Composição centesimal, valor energético total (VET), compostos fenólicos totais (CFT), capacidade antioxidante (CA) e

Componente	Extrusão	Nível de substituição de grãos quebrados de arroz pó polpa de açaí liofilizada (%) ¹				
		0	5	10	15	20
Umidade ²	Antes	12,78Aa±0,14	12,32ABa±0,15	11,60BCa±0,04	11,28Ca±0,66	10,22Da±0,13
	Depois	7,71Ab±0,13	7,74Bb±0,14	7,02BCb±0,26	6,79Eb±0,19	5,79Db±0,07
Proteína ²	Antes	2,84Bb±0,11	3,94Aa±0,29	4,00Aa±0,20	3,13Bb±0,02	4,34Aa±0,21
	Depois	4,12Aa±0,15	4,19Aa±0,17	4,18Aa±0,20	4,03Aa±0,01	4,25Aa±0,18
Cinzas ²	Antes	0,72Da±0,02	0,76CDa0,02	0,82Ca±0,04	1,08Ba±0,05	1,23Aa±0,01
	Depois	0,65Db±0,02	0,73Ca±0,01	0,78Ca±0,02	1,07Ba±0,04	1,18Ab±0,01
Lipídeos ²	Antes	1,26Ea±0,02	3,83Da±0,15	7,61Ca±0,26	9,32Ba±0,04	11,55Aa±1,32
	Depois	0,12Db±0,01	0,66Cb±0,04	2,43Bd±0,016	2,41Bb±0,07	2,79Ab±0,17
Fibra Alimentar ²	Antes	2,16Cb±0,07	11,68Ba±0,26	12,57Ba±0,41	14,51Aa±0,46	15,60Aa±0,69
	Depois	6,48Da±0,36	7,72Cb±0,46	9,63Bb±0,32	12,81Ab±0,50	12,80Ab±0,51
CHO ²	Antes	95,17Aa±0,12	91,47Bb±0,40	87,57Cb±0,49	86,47Cb±0,02	82,88Db±1,23
	Depois	95,09Aa±0,14	94,91Ba±0,13	92,59Ca±0,36	92,48Ca±0,08	91,77Da±0,28
VET ³	Antes	403,43Da±0,10	416,04Ca±0,80	434,76Ba±1,12	442,26Ba±0,39	452,83Aa±6,64
	Depois	398,03Cb±0,03	400,40Bb±0,25	409,01Ab±0,80	407,78Ab±0,33	409,24Ab±0,89
CFT ⁴	Antes	43,73Ea±0,26	187,95Da±8,67	317,01Ca±2,90	423,49Ba±4,07	500,00Aa±1,88
	Depois	29,58Eb±0,35	103,56Db±0,69	162,40Cb±3,73	228,30Bb±0,36	278,76Ab±0,47
CA ⁵	Antes	7,06Ea±0,37	12,17Da±0,51	21,50Ca±1,06	27,58Ba±0,95	34,67Aa±1,50
	Depois	2,55Eb±0,06	5,66Db±0,29	9,37Cb±0,23	13,37Bb±0,01	13,99Ab±0,01
Antocianinas ⁵	Antes	0Ea±0	14,35Ba±0,33	15,24Ca±0,11	39,92Ba±0,26	47,74Aa±0,67
	Depois	0Ea±0	4,99Db±0,27	11,10Cb±0,46	16,48Bb±0,84	24,71Ab±0,58

¹Média seguida do desvio-padrão. Letras maiúsculas diferentes na mesma linha e minúsculas na mesma coluna diferem significativamente pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$); ² g 100 g⁻¹; ³ kcal 100 g⁻¹; ⁴ mg de AG 100 g⁻¹; ⁵ % sequestro de radicais mg de cianidina-3-fosfato 100 g⁻¹; ⁶ mg de cianidina-3-fosfato

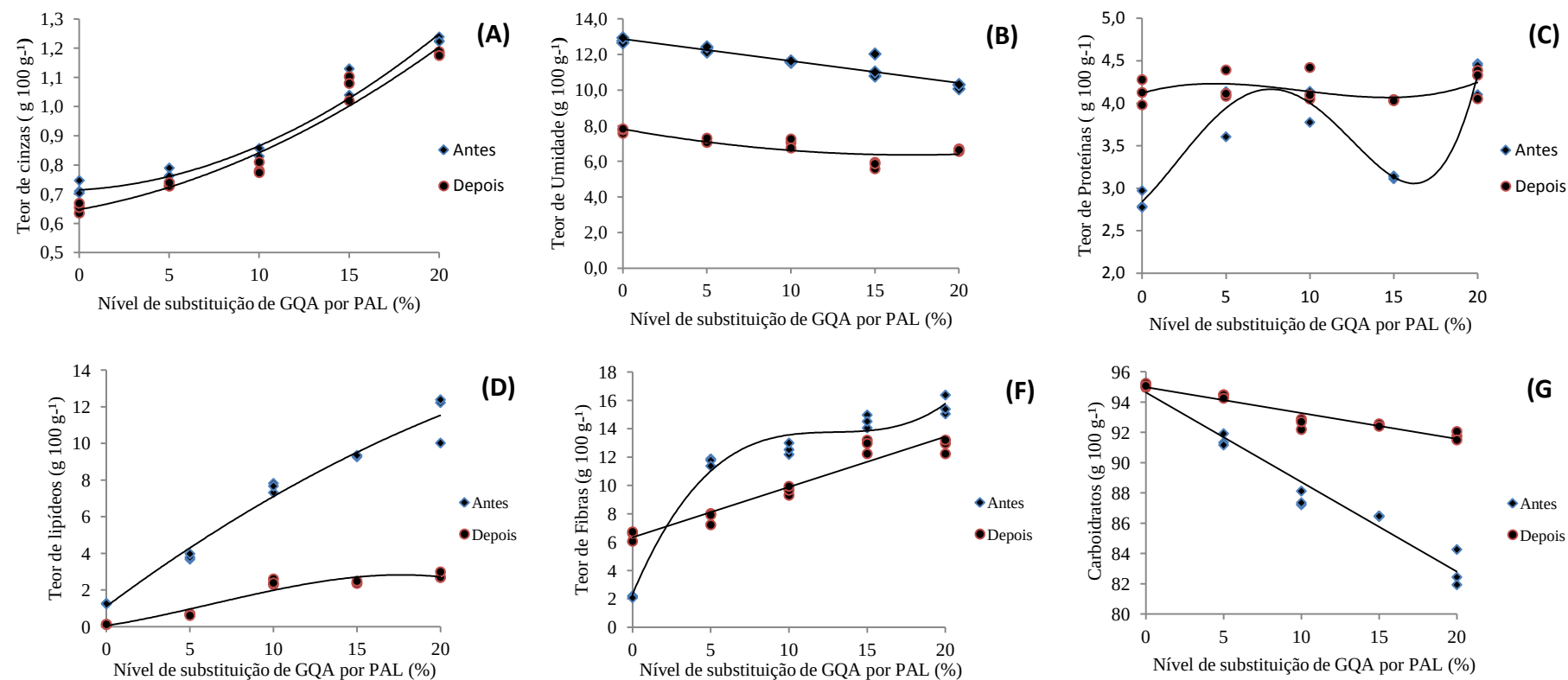


Figura 5.1. Teores de umidade (A), cinzas (B), proteínas (C), lipídeos (D), fibras (E) e carboidratos (F) das farinhas cruas e pré-gelatinizadas em diferentes níveis de substituições dos grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada

Tabela 5.2. Modelos ajustados, coeficiente de determinação ajustado e nível de significância para composição centesimal, valor energético total, compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante, antocianinas, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, índice de absorção de óleo (IAO), Croma e ângulo Hue farinhas com diferentes níveis de substituição de GQA por PAL, antes e após extrusão.

Característica	Extrusão	Modelos de Regressão	R ² Aj	p
Umidade	Antes	$y = 12,868 - 0,122x$	0,886	0
Proteína	Antes	$y = 2,802 + 0,531x - 0,064x^2 + 0,0020x^3$	0,822	0,000053
Cinzas	Antes	$y = 0,656 + 0,0267x$	0,888	0
	Depois	$y = 0,605 + 0,0278x$	0,925	0
Lipídeos	Antes	$y = 1,49 + 0,52x$	0,967	0
	Depois	$y = 0,760 + 0,095x$	0,817	0,000004
Fibra alimentar total	Antes	$y = 2,326 + 2,609x - 0,200x^2 + 0,0005x^3$	0,971	0
	Depois	$y = 6,343 + 0,354x$	0,919	0
Carboidratos totais	Antes	$y = 94,629 - 0,591x$	0,959	0
	Depois	$y = 94,98 - 0,171x$	0,897	0
Valor energético total	Antes	$y = 404,859 + 250x$	0,958	0
	Depois	$y = 397,26 + 1,264x - 0,033x^2$	0,855	0,000004
Compostos fenólicos totais	Antes	$y = 42,337 + 31,9115x - 0,445x^2$	0,9992	0
	Depois	$y = 30,186 + 14,747x - 0,114x^2$	0,998	0
Capacidade antioxidante	Antes	$y = 6,471 + 1,412x$	0,986	0
	Depois	$y = 2,602 + 0,308x + 0,0663x^2 - 0,0026x^3$	0,996	0
Índice de absorção de água	Antes	$y = 1,909 - 0,0155x + 0,0017x^2$	0,951	0
	Depois	$y = 5,90 + 0,241x - 0,007x^2$	0,795	0,000029
Índice de solubilidade em água	Antes	$y = 2,088 - 0,321x + 0,0532x^2 - 0,0015x^3$	0,91	0,000001
	Depois	$y = 49,986 - 2,569x + 0,0374x^2$	0,983	0
Croma	Depois	$y = 1,973 - 0,086x + 0,0062x^2$	0,867	0,000002
	Antes	$y = 2,48 + 1,224x - 0,0867x^2 + 0,0016x^3$	0,966	0
Hue	Depois	$y = 20,133 - 0,619x$	0,952	0
	Antes	$y = 66,825 - 15,498x + 1,271x^2 - 0,031x^3$	0,992	0
	Depois	$y = 72,56 - 3,761x + 0,137x^2 - 0,0038x^3$	0,995	0

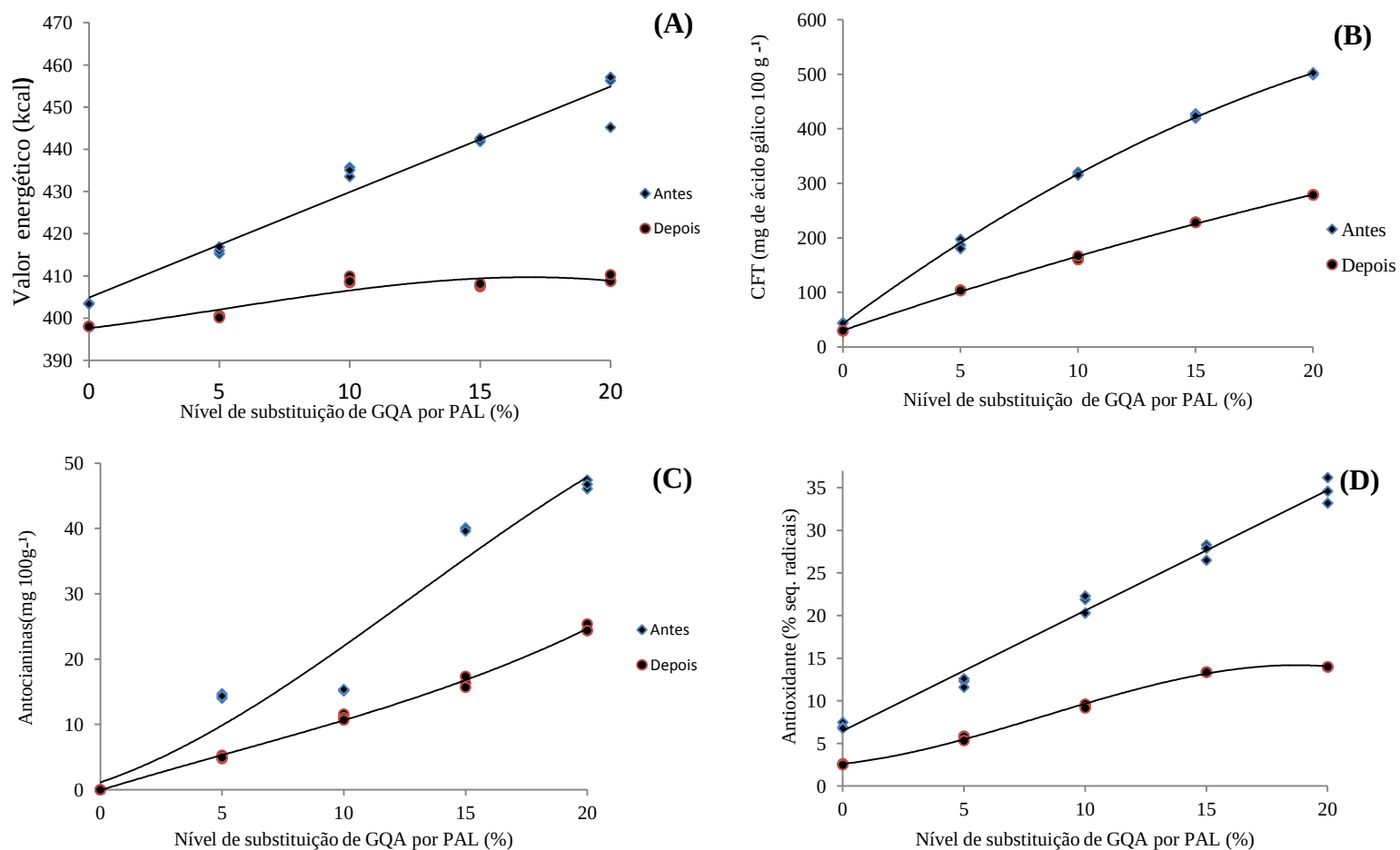


Figura 5.2. Teores de valor energético (A), compostos fenólicos totais (CFT) (B), capacidade antioxidante (C) e antocianinas (D) das farinhas cruas e pré-gelatinizadas com diferentes níveis de substituições dos grãos quebrados de arroz (GQA) por polpa de açaí liofilizada (PAL).

A redução desses componentes pode ser devido ao fato de que, são extremamente sensíveis a altas temperaturas, havendo danos em sua estrutura que compromete a sua funcionalidade. Campos et al. (2008) e Roy et al. 2007 declaram que essa diminuição é esperada quando se utiliza de temperaturas acima de 50°C, pois ocorrem efeitos negativos sobre os CFT e a capacidade antioxidante.

Branco, Howard e Prior (2010) estudaram as mudanças nos componentes bioativos e antioxidantes após extrusão em bagaço de cranberry misturados com amido de milho em diferentes proporções (30:70; 40:60 e 50:50), e relataram que a temperatura da camisa de extrusão e os níveis de bagaço foram os fatores que mais afetaram a quantidade de antocianinas totais e propriedade antioxidante. Os mesmos autores também afirmam que houve menores perdas de antocianinas quando maiores proporções de amido de milho em relação ao bagaço foram utilizadas, sugerindo que o amido serviu como uma barreira para preservar as antocianinas, porém o mecanismo ainda não foi esclarecido. O mesmo comportamento foi observado no presente estudo, pois o tratamento com 10% de substituição de GQA por PAL resultou em menor perda (27,16%), enquanto em com 15 e 20% ocorreram maiores perdas de antocianinas após a extrusão de 58,71% e 48,24%, respectivamente.

5.3.2 Índice de absorção de água e de óleo e solubilidade em água

5.3.2.1 Índice de absorção de água

Os modelos para IAA e ISA foram significativos em relação ao processamento antes e após a extrusão ($p \leq 0,01$). Porém, o IAO não obteve modelo significativo ($p \geq 0,05$) antes da extrusão, mais sim após a extrusão. A ANOVA fatorial indicou a significância para IAA, ISA e IAO com o tratamento de extrusão da mistura (Apêndices D.2.10, D.2.11 e D.2.12). Nas misturas cruas para o IAA houve diferença significativa apenas no tratamento com 20% de PAL (Apêndices C.2.13, Tabelas 5.2 e 5.3, Figura 5.3A) antes da extrusão.

Tabela 5.3. Propriedades funcionais das farinhas em diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz (GQA) por polpa de açaí liofilizada (PAL), antes e após extrusão termoplástica (em base seca).

Propriedade	Extrusão	Nível de Substituição de GQA por PAL (%) ¹				
		0	5	10	15	20
IAA ¹	Antes	1,91Bb±0,03	1,86Bb±0,05	1,93Bb±0,02	2,09Bb±0,08	2,28Ab±0,04
	Depois	5,84Ba±0,02	7,01Aa±0,86	7,61Aa±0,06	7,72Aa±0,05	7,84Aa±0,08
ISA ²	Antes	2,01Bb±0,09	1,92Bb±0,01	2,17Bb±0,08	4,31Ab±0,09	4,44Ab±0,16
	Depois	49,93Aa±0,24	37,44Ba±0,86	30,27Ca±1,18	17,51Da±0,87	14,37Ea±0,73
IAO ³	Antes	1,72Ab±0,06	1,78Aa±0,03	1,79Aa±0,01	1,93Aa±0,27	1,94Ab±0,27
	Depois	1,91Ba±0,06	1,78Ba±0,04	1,84Ba±0,10	1,86Ba±0,03	2,83Aa±0,03

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha e minúsculas na mesma coluna diferem significativamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$); Médias seguidas de desvio-padrão.

¹ g gel g matéria seca⁻¹;

² %;

³ g g matéria seca⁻¹;

Após a extrusão houve diferença significativa apenas entre o tratamento com 0% e 5% de substituição de GQA por PAL, não havendo diferença significativa nos demais tratamentos. Porém, o processo de extrusão aumentou o IAA em todos os tratamento ($p \leq 0,05$) (Apêndice C.2.14, Figura 5.3A, Tabelas 5.2 e 5.3), o que é comum em farinha pré-gelatinizadas, já que o amido presente nas misturas cruas é gelatinizado com a alta temperatura empregada no processo de extrusão, ao qual aumenta o poder de absorção de água desses grânulos (TACER-CABA, et al., 2014). Clerici e El-Dash (2008) avaliaram as características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas e obtiveram farinhas com maiores IAA que farinhas não pré-gelatinizadas. Os mesmos autores justificam que quanto maior o grau de gelatinização ocorrido no processo de extrusão, maior foi número de hidroxilas disponíveis para formar pontes de hidrogênio com a água e, conseqüentemente, a farinha terá maior capacidade de absorver água.

5.3.2.2 Índice de solubilidade em água

Com o ISA não foi diferente, houve um aumento significativo desse parâmetro após o processo de extrusão termoplástica (Apêndice C.2.15 e C.2.16, Figura 5.3B, Tabelas 5.2 e 5.3). A alta temperatura utilizada na extrusão pode ter degradado do amido presente na

farinha de grãos quebrados de arroz, transformando-o em moléculas menores que são mais solúveis em água (dextrinas).

Farinhas com índices elevados de absorção de água e solubilidade em água, como as pré-gelatinizadas obtidas no presente estudo, são interessantes para indústria processadora de alimentos rápidos e práticos, pela sua facilidade de formação de pasta a temperatura ambiente, sendo ideais para utilização como ingredientes em macarrões e sobremesa instantâneos, pães entre outros (VERNAZA; CHANG, 2012).

5.3.2.3 Índices de absorção de óleo

Em relação ao IAO, não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre os tratamentos antes da extrusão. Após a extrusão houve diferença significativa apenas no tratamento com 20% de PAL com um aumento de 45,87% no IAO (Apêndice C.2.17, Figura 5.3C, Tabelas 5.2 e 5.3). Esse aumento pode ser devido ao fato de que o tratamento com 20% de PAL após extrusão permaneceu com quantidades ainda expressivas de lipídeos (Tabela 5.1) ao qual são responsáveis pelos sítios apolares em sua estrutura que tem a capacidade de aprisionar o óleo (ZHENG et al, 2008).

5.3.3 Parâmetros instrumentais de cor

A adição de PAL e o processo de extrusão termoplástica foram significativos os parâmetros de croma e ângulo Hue. A substituição dos GQA por PAL favoreceram significativamente o escurecimento tanto das farinhas cruas como pré-gelatinizadas, havendo diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos (Apêndice C.2.22, C.2.23, C.2.24, C.2.25, Figura 5.4A e 5.4B, Tabelas 5.2 e 5.4).

A intensidade da cor (C^*) e a tonalidade (H°) das farinhas cruas obtiveram um ligeiro aumento com a substituição dos GQA por PAL, enquanto houve uma redução nas farinhas pré-gelatinizadas. Após o processo de extrusão todos os tratamentos apresentaram maiores valores de C e H° (Figuras 5.4 A e 5.4 B, Tabela 5.2 e 5.4).

Tabela 5.4. Croma (C*), ângulo Hue (H) das farinhas com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz (GQA) por polpa de açaí liofilizada (PAL) antes e após extrusão (ext.) termoplástica

	Ext.	Nível de Substituição de GQA por PAL (%) ¹				
		0	5	10	15	20
C*	Antes	6,32Db±0,2	10,09Bb±0,1	11,91Ab±0,04	10,30Bb±0,05	9,19Ca±0,01
	Depois	19,60Aa±0,3	18,55Ba±0,6	12,76Ca±0,28	10,77Da±0,09	8Eb±0,01
H°	Antes	67,27Ab±0,8	15,38Bb±0,8	9,94Db±0,55	11,70Cb±0,13	12,42Cb±0,53
	Depois	72,31Aa±0,2	57,71Ba±0,4	43,38Ca±0,00	35,13Da±0,01	21,40Ea±0,04

¹ Médias seguidas de desvio-padrão.

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha e minúsculas na mesma coluna diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O tratamento só com GQA apresentou ângulo Hue mais próximo do amarelo, reduzido à medida que foi adicionado a PAL, apresentando uma maior tendência ao vermelho. Já com o processo de extrusão as farinhas pré-gelatinizadas apresentaram uma redução significativa ($p \leq 0,05$) em seus valores de C* em todos os tratamentos, obtendo farinhas com menores intensidades de cor. Já o ângulo Hue das farinhas cruas obteve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) após a extrusão, indicando possivelmente uma degradação parcial de antocianinas, responsáveis pela cor vermelha da mistura, apresentando uma tonalidade voltada mais para o alaranjado-marrom.

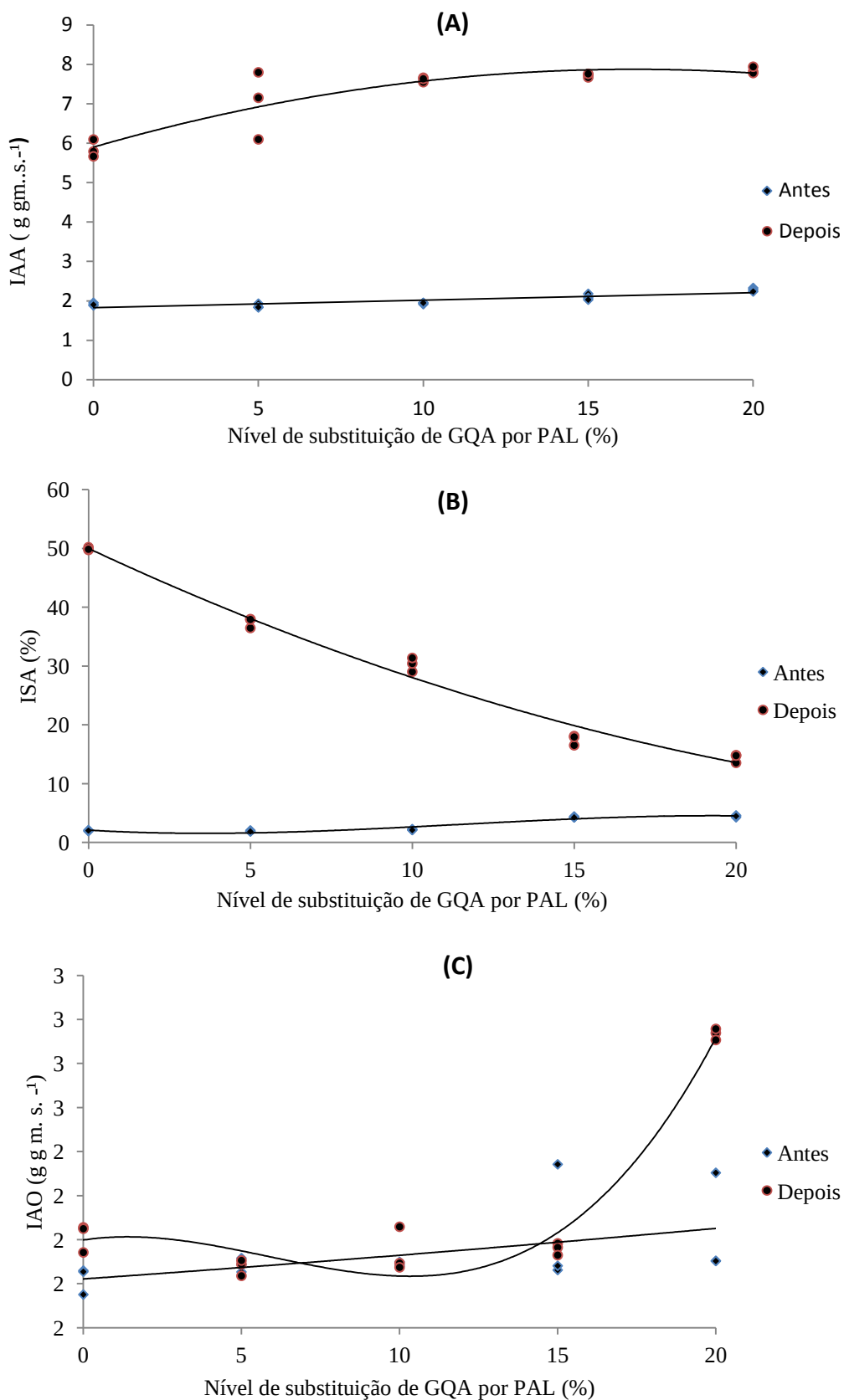


Figura 5.3. Índice de absorção de água (IAA) (A), índice de solubilidade em água (ISA) (B) e índice de absorção de óleo (IAO) (C) das farinhas cruas e pré-gelatinizadas com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz (GQA) por polpa de açaí liofilizada (PAL).

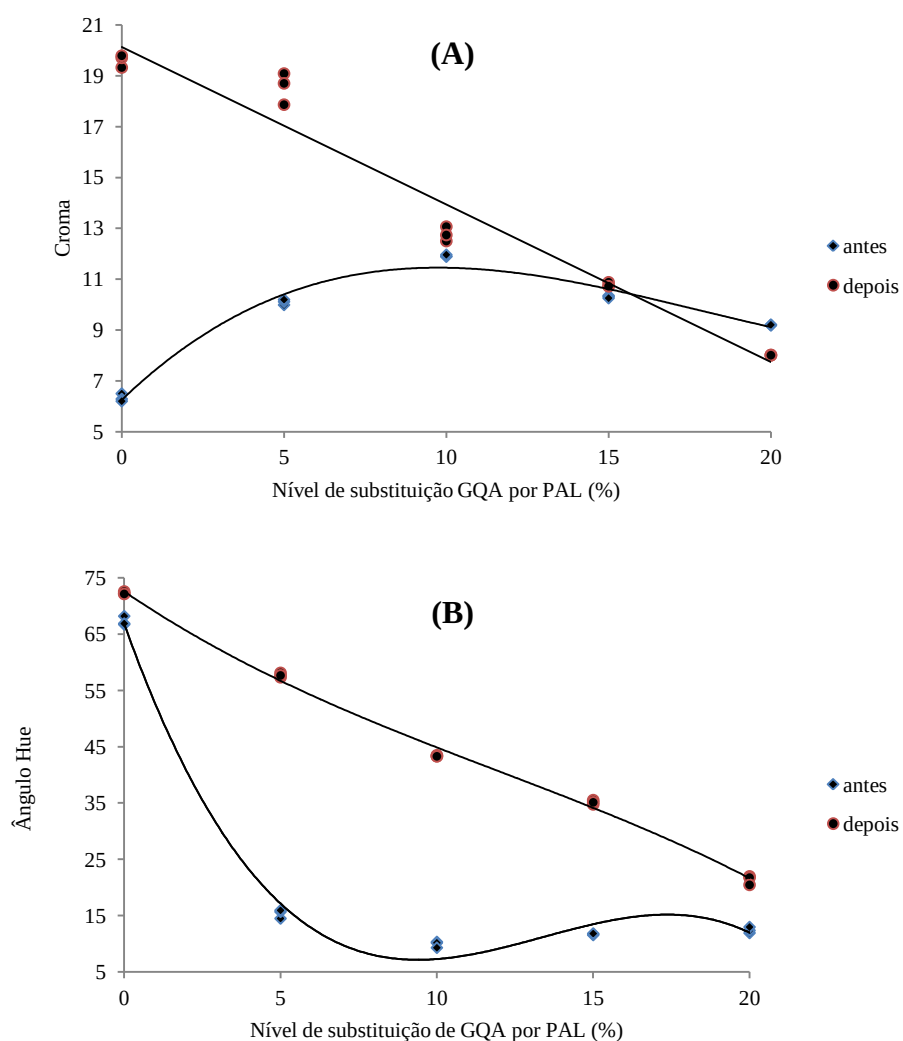


Figura 5.4. Croma (A) e ângulo Hue (B) das farinhas cruas e pré-gelatinizadas em diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada.

5.3.4 Propriedades térmicas e de pasta

As propriedades térmicas das misturas cruas (Apêndice C.2.26, Tabela 5.5, Figuras 5.5A e 5.5B) indicaram que a adição de polpa de açaí liofilizada não influenciou nas T_{on} , T_{pico} e T_{in} não havendo diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre elas. Porém houve diferença significativa entre o ΔH_{gel} das farinhas com 0%, 5%, e 20% que pode ser explicado pela interferência dos componentes não amiláceos nas misturas. As farinhas extrusadas não mostraram T_{on} , T_{pico} , T_{in} e ΔH_{gel} sugerindo que todo o amido presente nas amostras foi

gelatinizado. O mesmo aconteceu com farinhas pré gelatinizadas mista de soja, fécula e farelo de mandioca estudadas por Trombini e Leonel (2010).

As curvas de viscosidade apresentaram comportamento tradicional de farinhas durante o aquecimento, permitindo a avaliação das características da pasta formada, devido às modificações estruturais das moléculas de amido, além de outros componentes presentes nas misturas cruas e extrusadas. A viscosidade inicial a frio, capacidade das farinhas formarem pasta a temperatura ambiente, das farinhas cruas foram menores que os valores das farinhas extrusadas (Figura 5.6, Tabela 5.5) em todos os níveis de substituição de GQA por PAL. Os grânulos de amido presentes nas farinhas cruas por estarem em seu formato cristalino, não absorvem água com facilidade, ao contrário das farinhas extrusadas que passaram por processo térmico, resultando na modificação estrutural do amido facilitando a ligação de suas moléculas com a água (LOBO; SILVA, 2003).

Em relação a viscosidade de pasta a quente, apenas o tratamento com 0% de substituição de GQA por PAL obteve maior pico antes da extrusão. Os demais tratamentos obtiveram maiores VP após o processo de extrusão. Antes e após o processo de extrusão houve uma diminuição significativa ($p \leq 0,05$) (Apêndice C.2.29, Tabela 5.5) da viscosidade inicial e de pasta entre os níveis de substituição, podendo este fenômeno está relacionado aos níveis de proteína presente na PAL.

Segundo El- Said et al. (1979), o conteúdo de proteína presente na matéria-prima está negativamente correlacionado com a viscosidade máxima, pois este atua como uma barreira física para o intumescimento dos grânulos de amido, uma vez que estes são acoplados com facilidade na matriz de proteínas. O que corrobora com os resultados obtidos no presente estudo, à medida que houve adição de PAL aos grãos quebrados nas farinhas cruas e extrusadas houve uma diminuição da viscosidade máxima da pasta (Tabela 5.5).

Os valores de viscosidade de quebra das farinhas cruas foram menores que os das farinhas extrusadas em todos os níveis de substituição de GQA por PAL, e as viscosidade de pico das farinhas pré-gelatinizadas foram inferiores ao das farinhas cruas. Menegassiet al. (2007) observaram a mesma diferença de viscosidade de quebra após a extrusão de mandioquinha salsa. Segundo os mesmos autores, valores altos de viscosidade de quebra após o processo de extrusão indicam que, o processo não foi agressivo o suficiente para a degradação dos polímeros, rompimento parcial de estruturas moleculares e redução da capacidade de recristalização dos mesmos.

Tabela 5.5. Propriedades térmicas e de pasta das farinhas em diferentes níveis de substituição de polpa de açaí liofilizada aos grãos quebrados de arroz antes e após extrusão termoplástica em base seca

Parâmetros	Extrusão	Nível de substituição (%)				
		0	5	10	15	20
Tinicial	Antes	54,88A±3,25	55,19A±1,08	55,14A±0,54	55,99A±1,54	58,14A±1,81
	Depois	nd	nd	nd	nd	nd
Tpico	Antes	65,90A±0,40	65,78A±0,03	66,07A±0,31	65,94A±0,15	66,17A±0,51
	Depois	nd	nd	nd	nd	nd
Tfinal	Antes	78,58A±0,12	78,92A±0,04	78,94A±0,05	78,16A±1,16	77,87A±0,41
	Depois	nd	nd	nd	nd	nd
ΔH	Antes	56,11C±3,12	73,83A±0,76	65,03B±0,95	60,59BC±0,31	41,92D±1,81
	Depois	nd	nd	nd	nd	nd
VI	Antes	249,16A±3,31	176,33B±3,42	126,19C±7,14	93,44D±4,72	66,83E±7,48
	Depois	109,22C±5,69	219,94B±5,91	319,61A±19,22	248,13AB±46,44	229,77AB±62,24
VP	Antes	235,36A±2,40	166,27B±4,06	122,63C±6,86	86,63D±3,51	59,5E±6,25
	Depois	108,30C±4,65	219,94B±13,01	319,61A±37,93	248,13AB±26,20	229,77AB±28,70
VF	Antes	484,41A±1,91	323,13B±5,18	239,78C±11,97	189,72D±11,31	131,07E±5,33
	Depois	58,44E±2,69	82,77D±0,50	102,78C±0,63	174,94B±3,16	190,66A±0,42
TR	Antes	249,08A±1,83	160,86B±1,13	117,14C±5,21	103,08D±7,79	74,73E±4,62
	Depois	48,64E±2,14	67,36D±1,11	83,56C±0,89	136,11B±2,36	147,36A±1,13
QV	Antes	12,64A±1,47	10,05B±0,64	4,71C±1,10	5,68C±0,30	6,50C±0,22
	Depois	9,80E±0,55	15,56D±0,41	18,58C±0,52	38,83B±0,85	42,50A±0,46

• Média seguida do desvio padrão. Letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Tukey a nível de 5%. VI: viscosidade inicial a frio (RVU); VP : viscosidade de pasta a quente (RVU); VF: viscosidade final (RVU); TR: tendência a retrogradação (RVU); QV: quebra de viscosidade (RVU). ND: não houve resultado para este parâmetro; nd: não determinado.

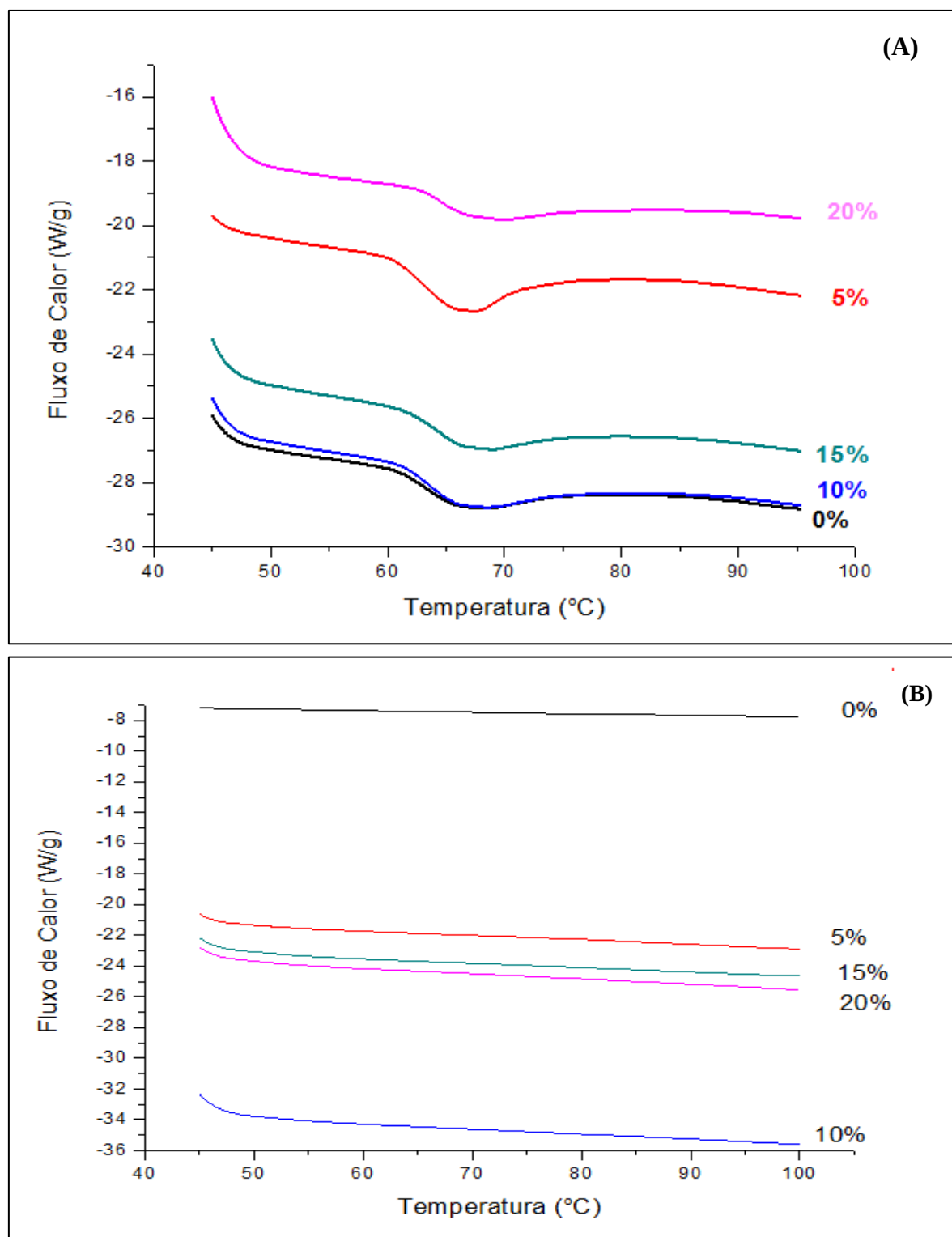


Figura 5.5. Termogramas farinhas com diferentes níveis de substituição (%) de grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada, cruas (A) e pré-gelatinizadas (B)

A viscosidade final permite conhecer o comportamento da pasta após seu resfriamento. Os valores de viscosidade final das misturas cruas foram significativamente

maiores quando comparados as misturas extrusadas, com exceção do tratamento com 20% de PAL, que não diferiu. O alto valor de viscosidade final apresentado nas farinhas cruas indicou a presença de grânulos de amido intactos, com baixa resistência a elevadas temperaturas. O contrário ocorreu com as farinhas extrusadas, indicando que maior parte do amido presente nas farinhas cruas foram degradados, resultando em menores valores de viscosidade final. Pode ser observado que a substituição de GQA por PAL diminuiu a tendência a retrogradação nas farinhas cruas, e ao contrário aumentou nas farinhas extrusadas (Tabela 5.5).

Tal fenômeno pode ser explicado devido à presença de outros componentes, além do amido nas misturas, como lipídeos e proteínas, pois estes componentes tendem a encobrir o amido, retardando a hidratação do grânulo e diminuindo a velocidade de desenvolvimento da viscosidade (OLIVEIRA FILHO; MANCIN, 2009). Nos viscoamilogramas foi possível observar (Figuras 5.6A, 5.6B e 5.6C) que a partir da substituição de 5% de GQA por PAL houveram pequenos patamares de viscosidade a temperatura de 90°C (Figura 5.6A2, B2 e C2). Ascheri et al. (2006) tiveram a mesma observação analisando farinhas mistas de arroz e bagaço de jabuticaba pré-gelatinizadas. E justificam que esse fato pode ser devido à presença de grânulos de amido remanescente, que não foram completamente degradados no processo de extrusão termoplástica, assim não ocorrendo sua completa gelatinização. Por isso ofereceu certa resistência à expansão e ruptura durante o tratamento hidrotérmico aplicado na análise rápida de viscosidade.

5.3.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As farinhas apresentaram-se de forma compacta, com superfície irregular onde é possível distinguir grânulos de amido nas formulações com níveis de substituição de PAL com 5%, 10%, 15% e 20% (Figura 5.7A, 5.7B, 5.7C, 5.7D), indicado pelas setas. O que corrobora com os resultados obtidos nos viscoamilogramas (Figura 5.6D, 5.6E e 5.6F) dos respectivos tratamentos aos quais apresentaram picos indicando possível amido não gelatinizado no processo de extrusão termoplástica provenientes da farinha de grãos quebrados de arroz (Figura 5.7E). A farinha de polpa de açaí liofilizada apresentou superfície esponjosa com orifícios formados pela sublimação da água no processo de liofilização (Figura 5.7 F).

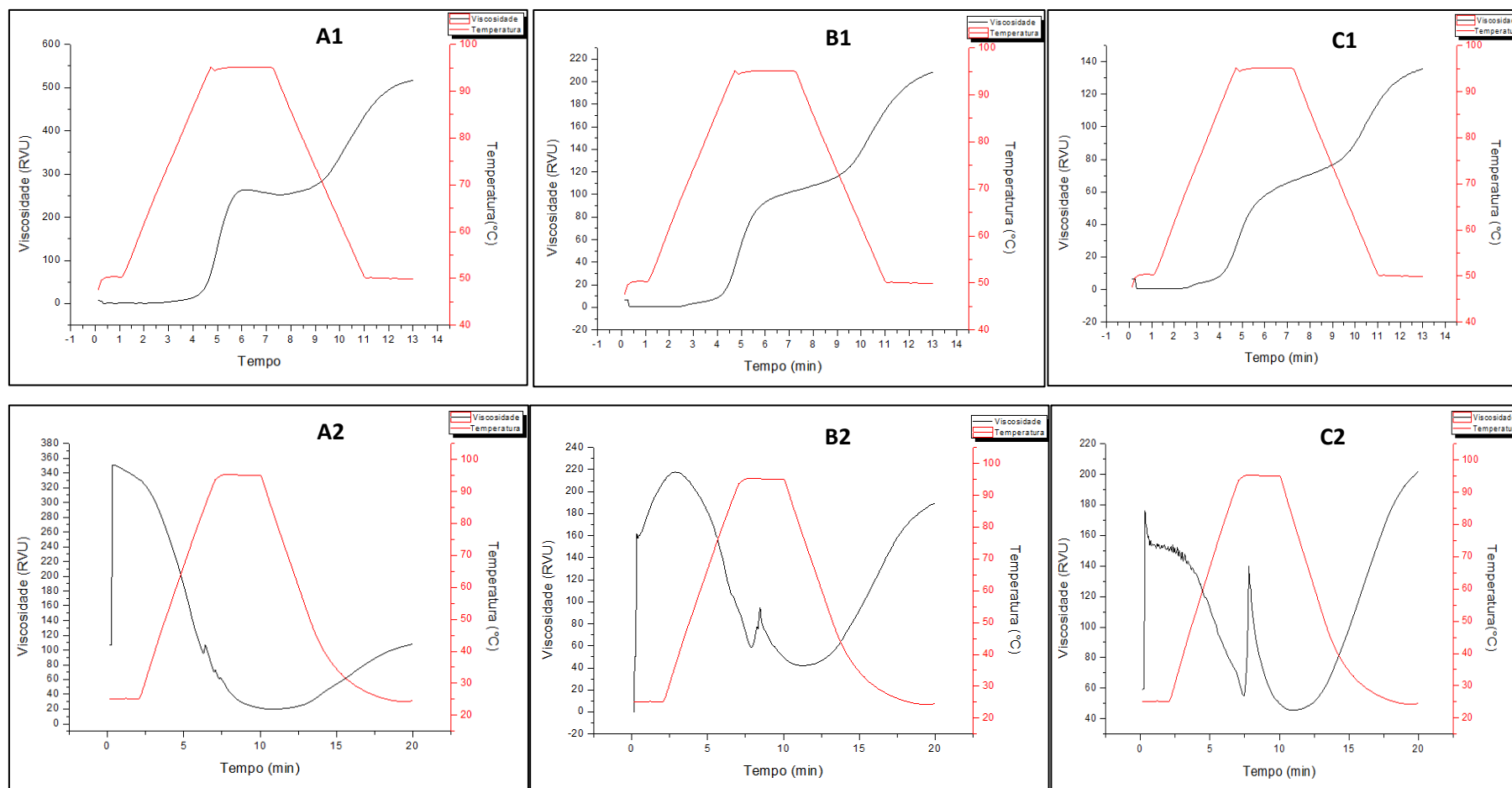


Figura 5.6. Perfil viscoamiliográfico das farinhas cruas e pré-gelatinizadas em diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por polpa de açaí liofilizada. A1: 10% crua; A2: 10% pré-gelatinizada; B1: 15% crua; B2: 15% pré-gelatinizada; C1: 20% crua; C2: 20% pré-gelatinizada.

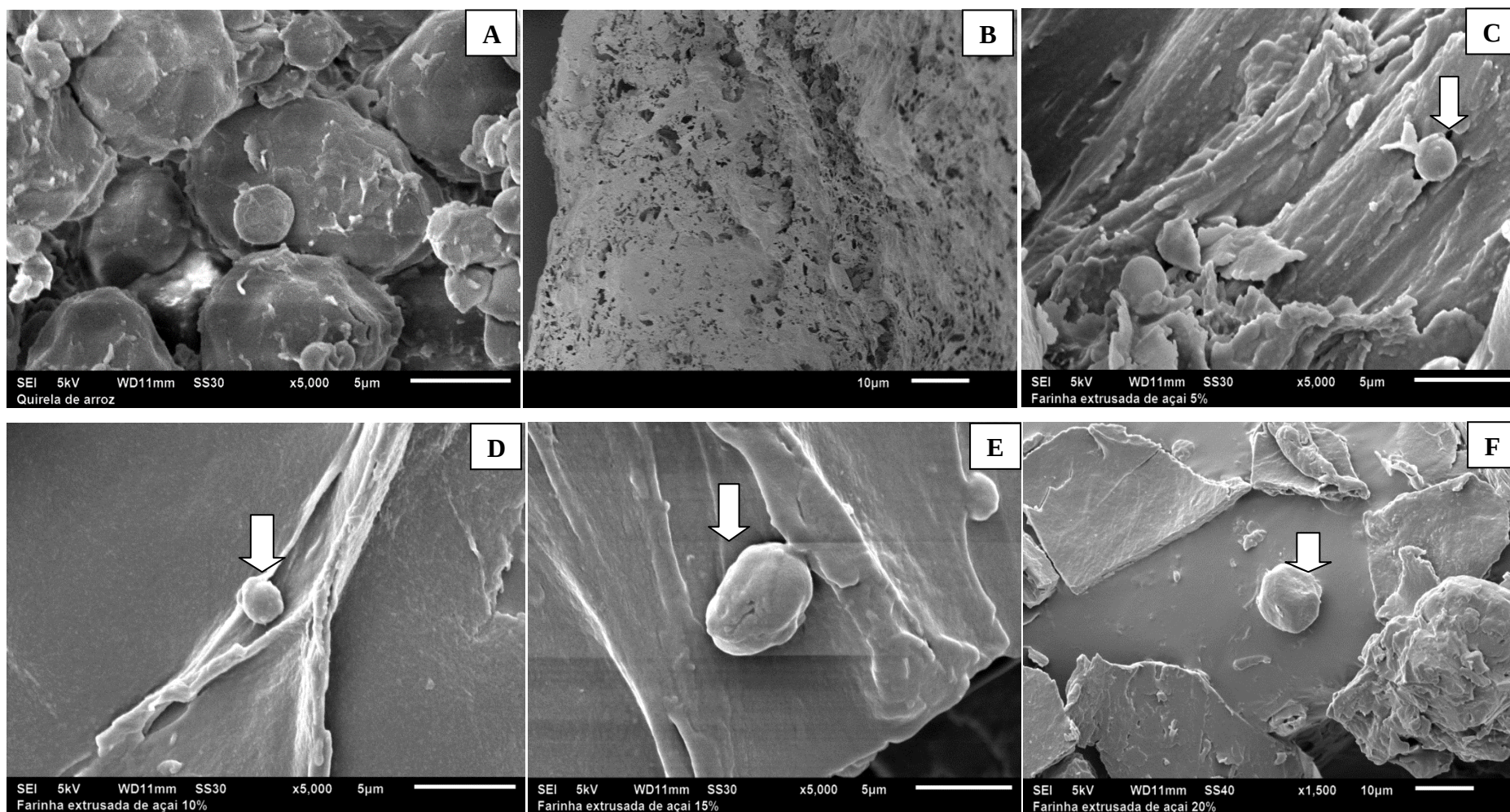


Figura 5.7. Microscopia eletrônica de varredura farinhas pré-gelatinizadas em diferentes níveis de substituição de PAL 5, 10, 15, e 20 % (C, D, E e F, respectivamente), grãos quebrados de arroz (A) e polpa de açaí liofilizada (B).

5.4 CONCLUSÃO

O processo de extrusão provoca mudanças significativas na composição química, incluindo nos compostos bioativos, nos parâmetros de cor, nas propriedades térmicas e de pasta das farinhas mistas de PAL e GQA. A extrusão afeta em maior proporção o teor de antocianinas, os compostos fenólicos e a capacidade antioxidante, apesar das condições brandas do processo. No entanto, contribui para um aumento do índice de absorção e solubilidade em água das misturas. O processo de extrusão também afeta os parâmetros de cor, obtendo-se farinhas pré-gelatinizadas com baixa luminosidade e menor intensidade de cor. Análise de DSC não identifica picos de gelatinização após o processo de extrusão, indicando a total gelatinização do amido. O processo de extrusão também contribui para obtenção de farinhas pré-gelatinizadas com maiores índices de viscosidade inicial e de pasta, podendo ter diferentes tipos de aplicação em alimentos instantâneos. O MEV revela partículas compactas, de superfície irregular em todas as farinhas mistas pré-gelatinizadas.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.
- ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 115-144, 2006.
- AOAC-Association Of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 19th ed. Washington: AOAC; 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998, Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes), constantes do anexo desta Portaria. **Diário oficial da união; Brasília**, DF, 16 jan 1998.
- BRANCO, B. L.; HOWARD, L. R.; ANTES, R. L. Polyphenol composition and antioxidant activity of cranberry pomace extruded. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, p. 4037-4042, 2010.

CAMPOS, F. M.; MARTINO, H. S.D.; SABARENSE, C. M.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Estabilidade de compostos antioxidantes em hortaliças processadas: uma revisão. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.4, p. 481-490, 2008.

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.

CRUZ, C. R.; KAMARUDIN, M. S.; SAAD, C. R.; RAMEZANI-FARD, E. Extrusion temperature of the die effects on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 199, n. 1, p. 137-145, 2015.

DORS, G. C.; CASTIGLIONI, G. L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. ½, p. 63-67, 2006.

HONCU, I.; SLUKOVÁ, M.; VACULOVÁ, K.; SEDLÁCKOVÁ, I.; WIEGE, B.; FEHLING, E. Effects of Extrusion About Content and Food as fiber components of properties in various barley cultivars. **Journal of Cereal Science**, London, v. 68, n., p. 132-139, 2016.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos físicos e químicos para análise de alimentos. 4 ed, São Paulo, v. 1, 2008.

ICC- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Rapid pasting method using the newport rapid viscoanalyser**. Vienna, 1995. 10 p. (Standard, 162).

JOZINOVIC, A.; SUBARIC, D.; ACKAR, D.; BABIC, J.; MILICEVIC, B. Influence of addition of spelled flour properties in extruded products based on maize grains. **Journal of Food Engineering**, London, v. 172, n. 1, p. 31-37, 2016.

LIMBERGER, V. M.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D; BRUM, F. B.; EMANUELLI, T.; SILVA, L. P. Produção de salgadinho extrusado de quirera de arroz para uso na Indústria de Alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2590-2594, 2009.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas Resistant starch and its physicochemical properties. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Protein concentrate from *Jatropha* curcas screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate. *Science of food and Agriculture*, Oxford, v. 88, n. 9, p. 1542-1548, 2008.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioca-salsa (*arracacia xanthorrhiz*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

OLIVEIRA FILHO, J. H.; MANCINI, A. C. Additives and ingredients and their reflexes on the viscoamilográfics properties of corn starch. *Brazilian Journal Food Technology*, v. 7, n.1, p. 78-84, 2009

ROY, M.K. et al. Antioxidant potential, anti-proliferative, activities, and phenolic content in water-soluble fractions of some commonly consumed vegetables: effects of thermal treatment. **Food Chemistry**, Barking, v.103, n.1, p.106-114, 2007.

RUFINO, M. S. M.; PÉRES-JIMÉNEZ, J.; ARRANZ, S.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; OLIVEIRA, M. S. P.; SAURA-CALIXTO, F. Açaí (*euterpe oleraceae*) ‘brs pará’: a tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. **food research international**, essex, v. 44, n. 7, p. 2100-2106, 2011.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre dpsh. Fortaleza (CE): Embrapa, 2007. **(Comunicado Técnico 127)**.

SALEH, M.; MEULLENET, J. F. Broken kernels and rice texture and hydration kinetics During the cooking. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 93, n. 7, p. 1673-1679, 2013.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Daves, v. 20, n. 2, p. 144-158, 1965.

SOBOTA, A.; SYKUT-DOMANSKA, E.; RZEDZICKI, Z. Effect of extrusion - cooking process on the chemical composition of corn - wheat extruded , with particular emphasis on dietary fiber fractions. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, Olsztyn, v. 60, p. 251-259, 2010.

STOJCESKA, V.; AINSWORTH, P.; PLUNKETT A.; IBANOGLU, S. Use advantage of the extrusion processing for increasing food fiber level in gluten-free products. **Food Chemistry**, Barking, v. 121, p. 156-164, 2010.

TACER- CABA, Z.; NJLUFER-ERDIL, D.; BOYACIOGLU, M. H.; NG, K. W. P. To evaluate the effects of replacing amylose powder and Concord grape extract on physicochemical properties of wheat flour extrudates produced at different temperatures. **Food Chemistry**, Barking, v. 157, p. 476-484, 2014.

TAVARES, J. S.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BECKER, F. S.; EIFERT, E. C. Mudanças funcionais de farinha de arroz torrada com micro-ondas em função do teor de umidade e do tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 6, p. 1102-1109, 2012.

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

VERNAZA, M. G.; CHANG, Y.K. Goma guar addition evaluation and salt in absorption water and quality of instant noodles. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, Araraquara, v. 23, n. 3, p. 435-442, 2012.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica, e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.29, n. 4, p. 748-753, 2009.

WROLSTAD, R. E. **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: John Wiley & Sons, Unit. F1.2, 2001, p. 1-13.

ZHENG, H.; YANG, X.; TANG, C.; LI, L.; AHMA, D. I. Preparation of soluble soybean protein aggregates (SSPA) from insoluble soybean protein concentrates (SPC) and its functional properties. **Food Research International**, Essex, v. 41, p.154-164, 2008.

CAPÍTULO 6

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, FUNCIONAIS E MICROBIOLÓGICAS DE CÚRCUMA EM PÓ

RESUMO

A cúrcuma é um rizoma rico em material amiláceo, de cor amarelo-alaranjada, rica em curcuminoides, e com alta capacidade antioxidante. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas, químicas e funcionais de cúrcuma em pó (CP), buscando contribuir para incremento de sua utilização na indústria de alimentos. Três amostras foram avaliadas, e as análises realizadas em triplicata. A farinha de cúrcuma em pó (CP) apresentou grande quantidade de carboidratos ($50,33 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), que contribuiu com seu alto valor energético ($266,24 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$); e valor expressivo de compostos fenólicos ($1175,01 \text{ mg}$ de ácido gálico 100 g^{-1}), com capacidade antioxidante moderada (37,53% de sequestro de radicais DPPH). A farinha apresentou padrão de difração típico de rizomas (Tipo B) com baixo índice de cristalinidade (5,85%). A temperatura inicial de gelatinização em $72,49 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_{on}) com pico em $73,19$ finalizando em $79,48 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_{in}) com entalpia de gelatinização de $7,32 \text{ J g}^{-1}$. A temperatura de pasta analisada no viscoamilograma foi de $85,54 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Nas imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, observaram-se grânulos de amido intactos aglomerados junto com outros componentes não amiláceos. Os espectros de infravermelho evidenciaram a presença de ligações características de umidade, ácidos graxos, açúcares e compostos aromáticos. O pó de cúrcuma constitui um ingrediente promissor no desenvolvimento de novos produtos alimentícios com valor funcional agregado.

Palavras-chave: *Curcuma longa* L., propriedades térmicas, absorção de água e óleo, solubilidade em água, propriedades de pasta, composição centesimal.

6.1 INTRODUÇÃO

A cúrcuma (*Cúrcuma longa* L.) é uma planta herbácea pertencente à família *Zingiberaceae*, muito cultivada como condimento para dar cor e sabor nos alimentos em países sul asiáticos (Índia, Indonésia, China, Kuwait), sendo a Índia o maior produtor mundial (SPINELLO et al., 2014). No Brasil, esse rizoma de cor amarelo-alaranjado é popularmente conhecido como açafrão e é mais cultivado na região Centro-Oeste do país (BERNI et al., 2014).

O rizoma é rico no curcuminóide curcumina (3-4 mg 100 g⁻¹), conhecida pela sua alta capacidade antioxidante. Além disso, esse composto bioativo possui atividade antifúngica, antibacteriana, antiviral, anti-inflamatória, considerado por isso alimento funcional. Pois, é capaz de suprir funções relacionadas aos mecanismos de defesa do organismo, prevenção e recuperação de doenças (COZZOLINO et al., 2012; CUONG et al., 2015; MISHRA et al., 2015; WANG et al., 2015; RECENO; BENSON; DERUISSEAU et al., 2015).

Os vegetais com características de funcionalidade são muito explorados atualmente, principalmente os que possuem pigmentos, como a cúrcuma, que podem ser utilizados na indústria alimentícia como aditivos naturais. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades químicas, físicas e tecnológicas da cúrcuma em pó, visando contribuir para ampliação de sua utilização como ingrediente pela indústria de alimentos.

6.2. MATERIAIS E MÉTODOS

A cúrcuma foi cultivada no município de Mara Rosa, Goiás, Brasil, e adquirida em pó no comércio local de Goiânia-GO, Brasil. A cúrcuma foi passada em peneira com orifícios de 0,25 mm de diâmetro, colocada em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD), e armazenada em freezer a -18°C, até a realização das análises.

Três amostras de farinha de cúrcuma em pó foram utilizadas para a determinação da granulometria, microscopia eletrônica de varredura, parâmetros instrumentais de cor, difratometria de raio-X, propriedades térmicas, espectroscopia de absorção de infravermelho, características de pasta, índices de absorção de água e óleo, índice de solubilidade em água, atividade de água, composição química e análise microbiológica.

6.2.1 Granulometria

O tamanho das partículas foi determinado em um granulômetro (Bertel, 4819, Caieiras, Brasil) segundo metodologia estabelecida por Zanotto e Bellaver (1996). Amostra de 100 g foi peneirada durante 10 min em um conjunto de peneiras (com diâmetro dos orifícios de 0,841, 0,250, 0,149, 0,105, 0,074 mm). As quantidades retidas em cada peneira e na base foram pesadas e expressas em porcentagem. A partir da porcentagem de amostra retida foi determinado o índice de uniformidade (IU), módulo de finura (MF) e o diâmetro geométrico médio das partículas (DGM).

6.2.2 Microscopia eletrônica de varredura

Após desidratação a vácuo, a amostra foi colocada em suportes de alumínio (stubs) e recoberta com uma película de ouro no aparelho e observados no Microscópio Eletrônico–ME de Varredura (Jeol, JSM – 6610, São Paulo, Brasil). As micrografias de superfície foram realizadas em aumentos de ordem de 5000x, 800x.

6.2.3 Cor

Os parâmetros instrumentais de cor foram analisados através de colorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA). A calibração foi efetuada em superfície de porcelana branca, a fim de se obter um padrão, em seguida foram realizadas as leituras dos parâmetros instrumentais de cor. A partir das leituras dos parâmetros a^* e b^* , foram calculados a croma (saturação da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz) (Equações 1 e 2). As leituras foram realizadas com o produto dentro de placas de petri.

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad \text{Equação 2}$$

Nas quais:

C^* = cromaticidade;

H= ângulo Hue;

$\tan^{-1}$ - = arco tangente;

a* é a coordenada de cromaticidade entre o verde e o vermelho; e b* entre o azul e o amarelo.

6.2.4 Difração de raio-x e cristalinidade relativa

O padrão de difração de raio-X foi obtido com um difratômetro de bancada (Arl-Zeiss, URD6, Jena, Alemanha), de acordo com a metodologia reportada por Weber, Collares-Queiroz e Chang (2009). A amostra foi colocada em um porta-amostra situado num plano a um ângulo θ de 5° da fonte de raio-X (conhecido como ângulo de Bragg). A faixa de medição foi de 5° a 40°, com uma velocidade de 0,45° min⁻¹, operando a 35 kV e 15 mA, com radiação incidente $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ de Cu-K α . Os difratogramas foram obtidos num ângulo de 5° a 40° na escala de 2 θ . A cristalinidade relativa foi calculada baseando-se na relação entre a área dos picos e área total dos difratogramas, conforme método descrito por Nara e Komiya (1983), utilizando o aplicativo Origin versão 7.5 (MicrocalInc, Northampton, EUA).

6.2.5 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

As análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas utilizando-se pastilhas de brometo de potássio (KBr), em e o equipamento (Bomem Hartmann & Braun, MB 102, Quebec, California). As condições de operação foram estabelecidas na região 400-4000 cm⁻¹, com 32 varreduras e resolução de 2 cm⁻¹. Para o preparo das pastilhas, aproximadamente 1mg de cada amostra foram misturados com 100 mg de KBr, sendo essa mistura, comprimida entre dois pastilhadores sob alta pressão (de aproximadamente oito toneladas) até a formação de uma pastilha translúcida e sem deformações.

6.2.6 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas foram determinadas utilizando um calorímetro diferencial de varredura (TA Instruments, Q20, New Castle, UK), baseando-se na metodologia descrita

por Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009). Amostras de 2 mg (b.s) foram pesadas em porta amostras de alumínio, próprios para o equipamento DSC. Água destilada (6 μ L) foi adicionada, e os porta amostras selados em prensa específica. Em seguida, os mesmos foram mantidos por 12 h a temperatura ambiente, para uniformizar a distribuição da água. A amostra foi aquecida de 35 a 100°C a uma taxa de 10°C min⁻¹. Um porta-amostra de alumínio vazio foi utilizado como referência. As temperaturas de gelatinização (inicial, pico e final), a variação de entalpia (ΔH) durante aquecimento, e a transição vítrea (T_g) foram determinadas com auxílio do aplicativo TA Universal Analysis (TA Instruments, New Castle, UK).

6.2.7 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram obtidas em equipamento Rapid Visco Analyser (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia) na concentração de 3,5 g por 25 mL de água destilada. Para o cálculo da concentração foram efetuadas correções na quantidade de amostra e na quantidade de água adicionada de acordo com a tabela fornecida pelo fabricante. A programação “*Flour*” foi utilizada de acordo com a metodologia 162 proposta pela International Association for Cereal Science and Technology (ICC, 1995). A suspensão formada pelo pó de cúrcuma e a água foi mantida a 50°C por 3 min e 45 s, para investigar a viscosidade da farinha à baixa temperatura, aquecida a 95°C sob velocidade constante de 6°C min⁻¹, mantida nessa temperatura por 3 min e 30 s, resfriada a 50°C durante 4 min e 10s sob a mesma velocidade, e mantida a 50°C por mais 1min e 25 s, totalizando 12 min e 30s de marcha analítica. As características de pasta avaliadas foram: temperatura de pasta (TP), viscosidade de pasta (VP), viscosidade final (VF), quebra de viscosidade (QV) ou *breakdown* e tendência à retrogradação (TR) ou *setback*, expressos na unidade do aparelho, rapid visco units (RVU).

6.2.8 Absorção e solubilidade em água e absorção de óleo

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado segundo Anderson et al. (1969). A amostra de 2,5 g foi pesada em tubos de centrifuga, previamente tarados, e adicionados de 30 mL de água destilada. O tudo foi agitado em banho maria por 30 min em temperatura de 25°C, e centrifugado a 60 Hz (Best Etetronics, TG- WS, Xangai, China). O

sobrenadante foi retirado cuidadosamente com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10 mL, permanecendo apenas o precipitado formado no tubo. O valor de IAA foi calculado e o resultado expresso em g de precipitado por g de matéria seca (Equação 3). O índice de solubilidade em água (ISA) foi calculado pela relação entre a massa do resíduo seco do sobrenadante (resíduo da evaporação) e da amostra (Equação 4). Para a determinação do índice de absorção de óleo (IAO) também foi utilizado a metodologia proposta por Anderson et al. (1969), adaptada. A água foi substituída pelo óleo de soja. Após a centrifugação, o líquido sobrenadante foi descartado, deixando-se os tubos ligeiramente invertidos durante 1 min. O IAO foi obtido pela relação entre a massa do resíduo centrifugado pela amostra em base seca (Equação 5).

$$IAA = \frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso da amostra(bs)}} \quad \text{Equação 3}$$

$$ISA = \left\{ \left[\frac{PRE}{PA} \right] 3 \right\} 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$IAO = \frac{PRC}{PA} \quad \text{Equação 5}$$

Nas quais:

ISA= índice de absorção de água (gg⁻¹);

PRE= massa do resíduo da evaporação (g);

IAO= índice de absorção em óleo (g precipitado.g de materia seca);

PRC= massa do resíduo da centrifugação (g);

PA= massa da amostra (g) (base seca);

6.2.9 Atividade de água, acidez total e potencial hidrogeniônico

A atividade de água foi determinada no AquaLab digital (Braseq, CX-2-T, Jarinu, Brasil), acoplado a um banho termostático controlado, na temperatura de 25°C. Para a medida do pH foi utilizado o potenciômetro (Tecnal, TEC-51, Piracicaba, Brasil), previamente calibrado com solução tampão pH 4 e pH 8, com inserção do eletrodo diretamente em 5 g de amostra diluída em 100 mL de água. A acidez total foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N. As análises foram realizadas de acordo com as normas estabelecidas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

6.2.10 Composição centesimal

A umidade foi quantificada por dessecação a 105°C em estufa com circulação de ar até peso constante; as cinzas por pesagem após incineração a 550°C em forno mufla; o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6,25 resultou no teor de proteína bruta; e os lipídeos por extração com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra alimentar total foi utilizada amostra desengordurada da extração por Soxhlet, seguindo método enzimico-gravimétrico. O teor de carboidratos foi calculado pela diferença entre 100 e a soma das porcentagens de água, proteína, lipídeos totais e cinzas. O valor energético (kcal) calculado multiplicando o peso/g de carboidratos e proteínas por 4 e o peso/g dos lipídeos por 9. Todos conforme as recomendações da AOAC (2012).

6.2.11 Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais

Foi utilizado o método de captura de radicais DPPH (2,2 difenil-1-picril-hidrazil) para determinação da capacidade antioxidante de acordo, com a metodologia descrita por Rufino et al. (2007). Os compostos fenólicos totais foram quantificados pelo método de Folin-Ciocalteu, como descrito por Singleton e Rossi (1965), que se fundamenta na redução dos ácidos fosfomolibídico e fosfotungstístico na presença de formas fenólicas, com formação de complexos de coloração azul que absorvem fortemente entre 620 e 700 nm.

6.2.12 Açúcares totais, redutores

Os açúcares redutores (AR) e os açúcares redutores totais (ART) foram determinados segundo metodologia de Miller (1959), que se baseia na redução do ácido 3,5 – dinitro salicílico a ácido 3-amino–5–nitro salicílico, e a leitura realizada em espectrofotômetro (Bel Photonic, SP2000UV, Piracicaba, Brasil), usando solução de glicose como padrão.

6.2.13 Risco microbiológico

Contagens de *Coliformes* termotolerantes a 45°C, bolores e leveduras, *Bacillus cereus* e *Salmonella* foram realizadas, segundo as normas da Food and Drug Administration (FDA, 2002). Os resultados obtidos foram avaliados segundo os parâmetros estabelecidos pela resolução RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001).

6.2.14 Análise dos resultados

A partir dos dados obtidos foram calculados as médias, os desvios-padrão e os coeficientes de variação, com auxílio do aplicativo software *Statistica 7.0*. (Statsoft, São Caetano do Sul, Brasil).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Características físicas

6.3.1.1 Geanulometria

A cúrcuma em pó apresentou 80,12% de retenção na peneira de 0,842 mm e 18,47% na peneira de 0,25 mm, com módulo de finura de 4,97. O índice de uniformidade (IU) foi de 80% de partículas médias e 19% de partículas finas, e o diâmetro médio das partículas foi de 2,85 mm. O tamanho das partículas e índice de uniformidade de uma matéria-prima é de fundamental importância, visto que as propriedades de um alimento e as técnicas empregadas no processamento irão depender da homogeneidade da massa inicial (CAI et al., 2014).

6.3.1.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura revelou partículas com aspecto irregulares e superfície rugosa (Figura 6.1 A). Grânulos de amido intactos podem ser observados agregados a outras substâncias, provavelmente não amiláceas (Figura 6.1B). O tamanho (7,11 a 26,10 μm) e forma (circular, achatado) dos grânulos de amido podem ser variáveis de acordo com estágio de desenvolvimento da planta e forma de tuberização (LEONEL, 2007).

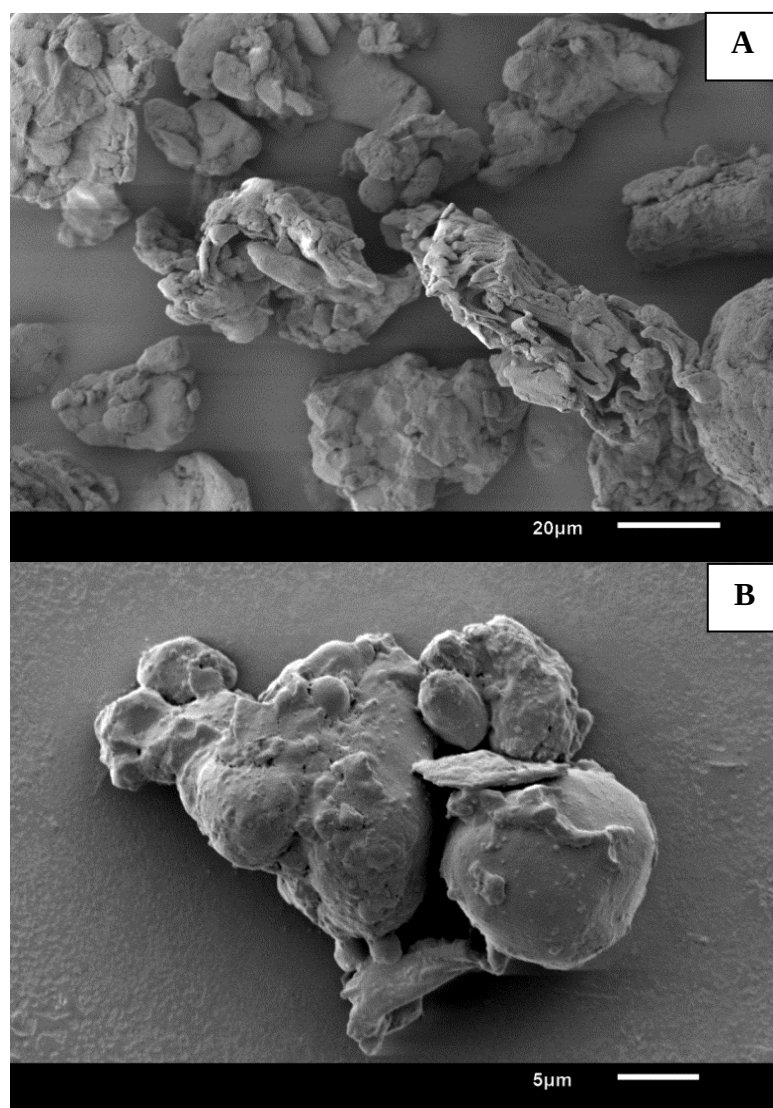


Figura 6.1. Micrografia eletrônica varredura de cúrcuma em pó. A) farinha de cúrcuma em pó aumento de 800x; B) farinha de cúrcuma em pó aumento de 5000x.

6.3.1.3 Parâmetros instrumentais de cor

A CP apresentou luminosidade elevada (62,86) estando mais próxima da coloração branca. A coordenada a^* apresentou valor positivo (16,84) indicando uma tendência da farinha à coloração vermelha.

O valor encontrado para a coordenada b^* foi positivo (59,51) aproximando-se da coloração amarela com tonalidade (C^*) relativamente alta (61,84) e intensidade de cor (Ângulo Hue) tendendo ao amarelo-alaranjado (74,19). Essa tonalidade tendendo ao amarelo-alaranjado na CP é, possivelmente, devido à presença de pigmentos curcuminoides que apresentam essa tonalidade e estão presentes no rizoma em concentrações que variam de 4 a 6 mg 100 g⁻¹ segundo a literatura (GRYNKIEWICZ; SLIFIRSKI, 2012; SAHU et al., 2016).

6.3.1.4 Difração de raio-X e cristalinidade relativa

A análise por técnica de difração de raios-X permite distinguir os três tipos de cristalinidade para os grânulos de amido, dependendo do comprimento das cadeias de amilopectina, densidade de empacotamento, bem como presença de água, podendo ser denominados como padrão do tipo A (milho, arroz, trigo, aveia), padrão do tipo B (Raízes, tubérculos, arroz com alto teor de amilose) ou padrão do tipo C (mistura dos padrões A e B) (LIMA, et al., 2012). A cúrcuma em pó apresentou picos de intensidade no ângulo de difração 2θ em 15°, 17,55°, 22,80° e 24,06 (Figura 6.2), indicando padrão de cristalinidade tipo B, característicos de amidos presente em rizomas e tubérculos. Tal resultado corrobora com os resultados obtidos para amido de cúrcuma analisado por Braga, Moreschi, Meireles (2006), com picos próximos a 17°, 22° e 24 também com padrão do tipo B. A farinha de cúrcuma em pó obteve 5,85% de índice de cristalinidade e 94,15% de aforficidade. Essa baixa região de cristalinidade e alta região amorfa pode ser explicada pelo teor elevado de amilose presente no amido desse tubérculo que, segundo a literatura, correlaciona-se negativamente com o grau de cristalinidade do material (YONEMOTO; CALORI-DOMINGUES; FRANCO, 2007).

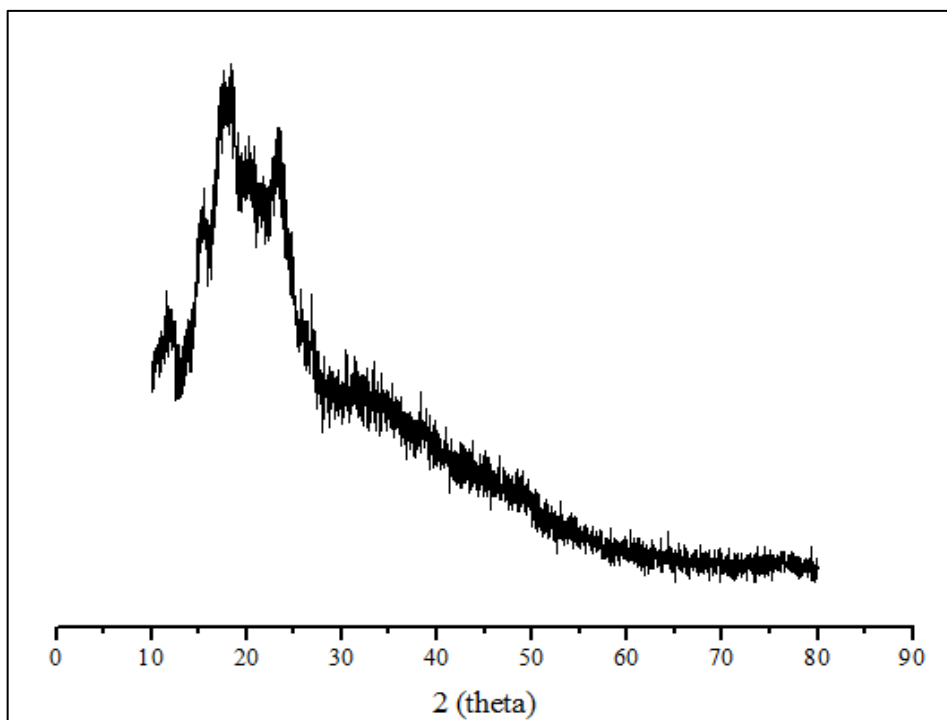


Figura 6.2. Difratoograma de raio-X para amostra de farinha de cúrcuma em pó a 25°C.

6.3.1.5 Propriedades térmicas

A cúrcuma em pó apresentou temperatura inicial de gelatinização (T_i) em 72,49°C, com pico em 73,19 °C (T_p) terminando em 79,48 °C (T_f) e temperatura de transição vítrea em 65,43°C (Figura 6.3), indicando que a temperatura ambiente, as farinhas de CP apresentam caráter estável sem separação de fases. O baixo valor de ΔH_{gel} (7,32 J g⁻¹) indica as moléculas presente na farinha de cúrcuma em pó apresentam uma menor orientação molecular (SRICHUWONG et al., 2005).

A análise das propriedades térmicas da farinha de cúrcuma em pó se faz importante pelo fato que o fenômeno de gelatinização ocorre em várias operações de processamento de alimentos de forma diferenciada, dependendo da composição da molécula de amido presente nessa farinha, dessa forma a calorimetria exploratória diferencial pode fornecer um aprofundamento no conhecimento dessa farinha para utilização como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos (CRUZ-OREA; PITSI; JAMÉE, 2002).

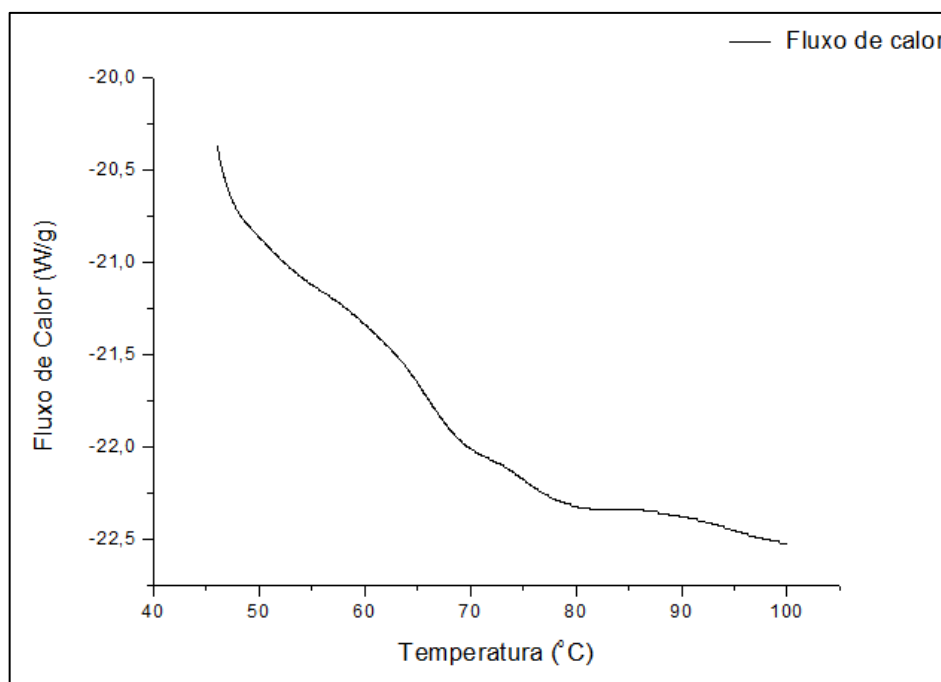


Figura 6.3. Propriedades térmicas da farinha de cúrcuma em pó

6.3.1.6 Propriedades de pasta

A temperatura de pasta da cúrcuma em pó ($85,47 \pm 0,05$) (Figura 6.4) foi similar aos valores reportados por Braga, Moreschi e Mireles (2006), 85 a 86 RVU para amido de cúrcuma, e próximo aos resultados obtidos pelos mesmos autores para amido de gengibre (86,6 a 86,5 RVU). A cúrcuma em pó exibiu viscosidade estável, com ligeira viscosidade de quebra ($1,63 \text{ RVU} \pm 0,45$) durante o período de temperatura a 95°C , e certa tendência a retrogradação, com viscosidade alta ($102,47 \text{ RVU} \pm 0,09$) após o arrefecimento, o que pode ser devido, provavelmente, às cadeias de amilose presente em quantidades elevadas na cúrcuma em pó (HUANG, et al., 2015).

Durante o resfriamento da suspensão de cúrcuma em pó, a viscosidade da pasta aumentou até o final da análise a uma temperatura de 50°C (Figura 6.4). Isso ocorreu porque durante o processo de resfriamento da pasta, houve a solubilização das moléculas de amilose e amilopectina do amido presente na cúrcuma, reassociando-se e aumentando a viscosidade final da pasta durante o resfriamento. A viscosidade final da cúrcuma em pó ($186,79 \text{ RVU} \pm 0,21$) foi pouco menor, quando comparado com tubérculo como batata doce (211 RVU) (GONÇALVES et al., 2009).

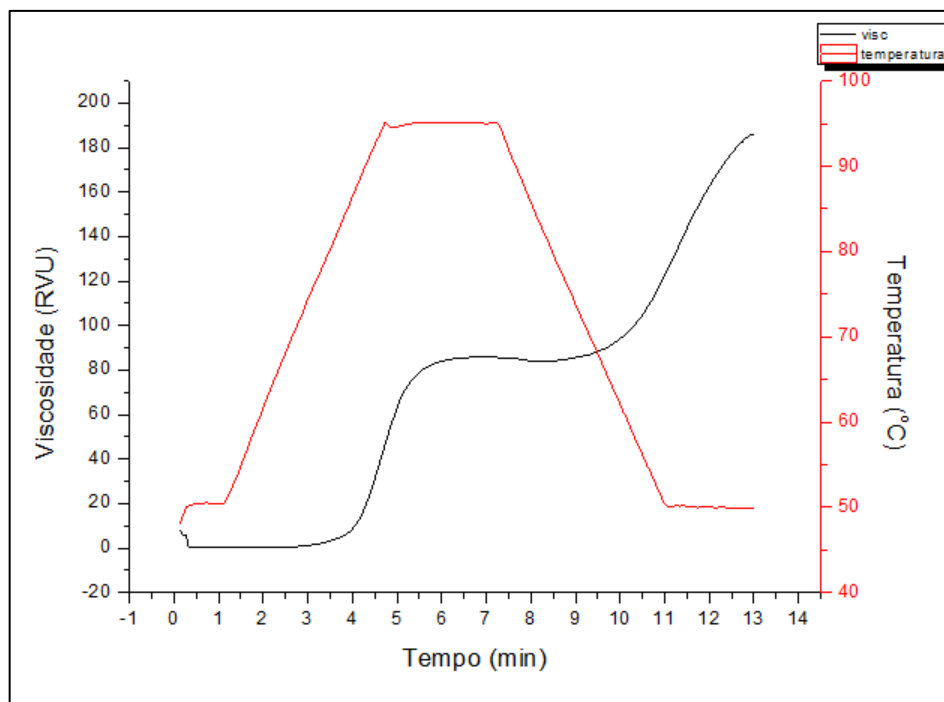


Figura 6.4. Perfil viscoamilográfico de cúrcuma em pó

6.3.1.7 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

A banda próxima a $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$ corresponde ao estiramento do grupamento O-H presente na molécula de água (Figura 6.5), (WU, 2009; PEREIRA et al., 2015). A banda próxima de 1030 cm^{-1} corresponde ao alongamento da vibração do grupamento C-O que pode estar relacionada à estrutura ordenada do amido presente na farinha (KHATOON et al., 2009; ROHAETI, et al., 2015).

Entre $1000\text{-}1060\text{ cm}^{-1}$ correspondem ao alongamento do grupamento C-O (Figura 6.5), que são muito utilizadas para verificar alterações na cristalinidade do amido puro ou presente em produtos amiláceos, pois está associada à estrutura ordenada do amido nativo (KHATOON et al., 2009; CHEN et al., 2016).

Os picos agudos em 1436 cm^{-1} (Figura 6.5) são típicos de compostos aromáticos com grupamento C=C do anel benzeno e vibrações do grupamento C-H de curcumina, pigmento presente na CP (GOVINDARAJ; KANDASUBRAMANJAN; KODAN, 2014). A farinha também apresentou pico sutil em 847 cm^{-1} , o que significa que os polissacarídeos presente na farinha de cúrcuma em pó apresentam características de α e β glicoconjugados (LIU et al., 2014).

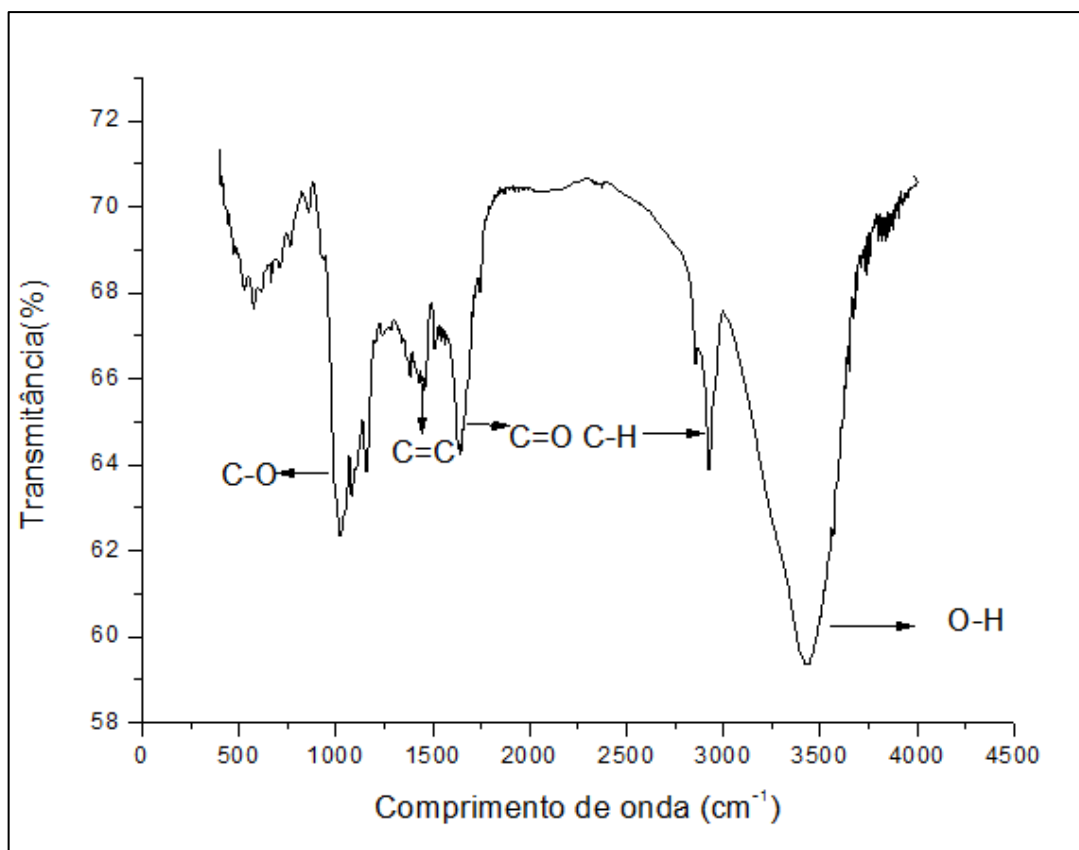


Figura 6.5. Espectro de absorção do infravermelho da farinha de cúrcuma em pó.

6.3.2 Absorção de água e óleo e solubilidade em água

Ao analisar o índice de absorção de água (IAA) da cúrcuma em pó a temperatura ambiente, foi observada a ocorrência de um precipitado capaz de absorver água (Tabela 6.1). Esta capacidade de absorção de água em temperatura ambiente está relacionada à presença de grupos que tem afinidade com a água (-OH) na cúrcuma em pó.

À medida que houve o aumento da temperatura, um aumento significativo ($\leq 0,05$) no IAA foi notado, porém não houve diferença significativa nas temperaturas de 70, 80, 90°C (Tabela 6.1). Esse súbito aumento no índice de absorção de água da cúrcuma em pó pode ser devido ao fato de que, em altas temperaturas o amido presente na mesma é ativado pelo aquecimento das moléculas, ocasionando a perda de sua cristalinidade (quebra de ligações de hidrogênio) pela gelatinização, liberando os sítios ativos hidrofílicos para ligação com a água, provocando o inchamento do grânulo e aumento da absorção de água (GONZÁLES; FLORES; PÉREZ, 2009). Além disso, demonstra que os componentes

presentes na farinha possuem forças associativas internas frágeis e uniformes, as quais foram rompidas a baixas temperaturas (ROCHA, DEMIATE, FRANCO, 2008).

Tabela 6.1. Índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e índice de absorção de óleo de cúrcuma em pó.

Temperatura (°C)	¹ IAA	² IAO	³ ISA
25	2,96 ^b ± 0,04	1,99 ± 0,005	7,70 ^b ± 0,15
60	3,38 ^b ± 0,02	-	7,61 ^b ± 0,015
70	5,79 ^a ± 0,23	-	8,38 ^a ± 0,21
80	5,89 ^a ± 0,25	-	8,60 ^a ± 0,2
90	5,48 ^a ± 0,08	-	8,69 ^a ± 0,41

¹Valores correspondem à média ± desvio-padrão (g gel/g de matéria seca);

²Valores correspondem à média ± desvio-padrão (g g de matéria seca);

³Valores correspondem à média ± desvio-padrão (%). M

Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5%

Assim como o IAA, o índice de solubilidade em água aumentou com o aumento da temperatura, não havendo diferença significativa entre as temperaturas de 70, 80 e 90°C (Tabela 6.1). O aumento da solubilidade em água com o aumento da temperatura, observada na cúrcuma em pó, pode ser devido ao rompimento da estrutura granular do amido com lixiviação da molécula de amilose em temperatura acima de 60°C, aumentando seu poder de solubilidade em água, o que corrobora com os resultados obtidos na análise de propriedade de pasta, onde a cúrcuma em pó começou a demonstrar características de pasta acima de 60°C (Figura 6.4) (ZAVAREZE et al., 2010).

O índice de absorção de óleo da cúrcuma em pó (Tabela 6.1) refletiu sua capacidade emulsificante. Produtos pulverulentos com capacidade de absorção de óleo podem ajudar a melhorar a sensação na boca, aumentar a retenção de sabor e facilitar a ligação da estrutura (SURIYA et al., 2016).

6.3.3 Características químicas

A farinha de cúrcuma em pó apresentou umidade (Tabela 6.2) que assegura sua estabilidade microbiológica durante armazenamento, pois valores acima de 14 g 100 g⁻¹ possibilitam o desenvolvimento de microrganismos, hidrólise e atividade enzimática com

consequente deterioração de constituintes do alimento (COUTO et al., 2009). As cinzas foram os componentes em menor quantidade na farinha em relação aos demais (proteínas, lipídeos e fibras), porém, em quantidades expressivas. Spinello et al. (2014) obtiveram valores próximos ao reportado no presente estudo ($4,34 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), refletindo o teor de minerais presente nessa raiz.

Tabela 6.2. Composição centesimal da cúrcuma em pó.

Análise	Valor
Umidade	$11,77 \pm 0,009$
Cinzas ¹	$4,76 \pm 0,06$
Proteínas ¹	$8,27 \pm 0,30$
Lipídeos ¹	$7,02 \pm 0,44$
Fibra alimentar total ¹	$17,84 \pm 0,39$
Carboidratos ¹	$50,33 \pm 0,90$
Valor energético ²	$266,24 \pm 0,97$
Açúcares totais ¹	$7,74 \pm 0,072$
Açúcares redutores ¹	$4,61 \pm 0,084$
Compostos fenólicos ³	$1175,03 \pm 1,02$
Antioxidantes ⁴	$37,53 \pm 1,32$

Os valores apresentam média de triplicata $\pm$ Desvio Padrão; ¹ $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (b.s); ² $\text{kcal } 100 \text{ g}^{-1}$ (b.u); ³ $\text{mg de ácido gálico } 100 \text{ g}^{-1}$; ⁴ % de sequestro de radicais DPPH.

O teor de proteínas e lipídeos foi expressivo (Tabela 6.2), e próximo ao reportado por Ascheri et al. (2010) para rizomas de lírio-do-brejo ($7,51 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, $7,5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente). Em relação à fibra alimentar total, a cúrcuma em pó apresentou valor elevado, abaixo do valor reportado por Krishnakumar et al. (2015) para farinha de cúrcuma fresca. A cúrcuma em pó apresentou alto valor energético devido, principalmente, ao alto teor de carboidratos e lipídeos. Dentre os carboidratos presentes, a cúrcuma obteve elevado teor de açúcares totais e redutores, estando próximo aos valores reportados por Leonel e Cereda (2002) para cúrcuma ($7,74$ e $4,42 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente), e batata doce ($6,99$ e $5,74 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente). O valor nutricional obtido pela cúrcuma em pó a valoriza como um ingrediente promissor no desenvolvimento de novos produtos com valor nutricional e funcional agregado.

A cúrcuma em pó apresentou teor elevado de compostos fenólicos e baixa atividade antioxidante (Tabela 6.2). O teor de compostos fenólicos totais ficou dentro da faixa obtida por Beal (2006), para gengibre (846,37 a 1409,05 mg de ácido gálico 100 g⁻¹). A atividade antioxidante da farinha obtida no presente estudo, foi maior que de vegetais como rabanete (29,06 %), couve (19,87 %), cenoura (17,99 %), e repolho (15,53%), e menor que o brócolis e beterraba (51,95 % e 44,59% respectivamente), alface lisa, cebola branca e couve flor (60 a 70%), vegetais comumente consumidos no Brasil (MELO et al., 2006; MELO; FARIA, 2014). A baixa atividade antioxidante obtida na cúrcuma em pó pode ser devido a vários fatores tais como método de extração, solvente utilizado, tamanho das partículas, tempo e temperatura de extração ao qual pode interferir na análise (LEMOS et al, 2011).

A importância da determinação do teor de compostos fenólicos em alimentos, se dá pelo fato de que esses componentes são os principais responsáveis pela capacidade antioxidantes de uma gama de vegetais. Os compostos fenólicos responsáveis pela propriedade antioxidante da cúrcuma em pó são os curcuminóides (curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina), e a presença desses compostos em uma dieta é de fundamental importância, visto que estes desempenham papel crucial no envelhecimento, protegendo o organismo contra aterosclerose, declínio imunológico relacionado com a idade, e alguns processos degenerativos, além de propriedades preventivas contra alguns tipos de câncer (MIQUEL et al, 2002; KOSSI et al., 2015; OSÓRIO-TOBÓN et al., 2016). Estudos utilizando antioxidantes sintéticos em alimentos têm sido frequentemente monitorados considerando os possíveis danos que estes podem provocar ao organismo. Dessa forma, faz-se necessário a pesquisa de corantes naturais para substituí-los e agregar valor nutricional ao produto desenvolvido.

6.3.4 Risco microbiológico

A cúrcuma em pó por ser um produto de baixa atividade de água ($0,479 \pm 0,01$) se comportou como meio de baixo potencial para o desenvolvimento microbiológico. A farinha se apresentou negativa para Coliformes termotolerantes (ausente) e *Salmonella* (ausente) e *Bacillus cereus* ($< 10^1$ UFC g⁻¹), valores aceitáveis pela portaria Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001 (Brasil, 2001). A ausência desses patógenos é de fundamental importância, visto que são causadores de doenças que podem levar o indivíduo a morte. A contagem de bolores e levedura ($2,1 \times 10^1$ UFC g⁻¹) está dentro do padrão aceitável, visto que a resolução

Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001 (Brasil, 2001) não estabeleceu limites para bolores e leveduras em hortaliças, raízes e tubérculos secos ou desidratados. No entanto, a pesquisa desses microrganismos se faz importante visto que evidenciam uma boa condição higiênica dos produtos analisados. De acordo com esse critério, a cúrcuma em pó pode ser considerada em perfeito estado para utilização como ingrediente ou consumo humano.

6.4 CONCLUSÃO

A farinha de cúrcuma em pó apresentou partículas irregulares e superfície rugosa e padrão de difração de raio-x tipo B característico de rizomas. Com relação as propriedades de pasta a farinha de cúrcuma em pó apresentou alta temperatura de pasta e elevada tendência a retrogradação. O estudo sobre a presença e concentração de compostos fenólicos e antioxidantes em farinha de cúrcuma em pó deverá ser ampliado, de modo a permitir uma melhor avaliação de seus efeitos, possibilitando uma compreensão mais ampla para uma recomendação de dieta melhor embasada. O valor nutricional obtido para cúrcuma em pó a valoriza como um ingrediente promissor no desenvolvimento de novos produtos com valor nutricional e funcional agregado.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.

AOAC-Association Of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 19th ed. Washington: AOAC; 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº12 de 2 de fevereiro de 2001. Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil, Brasília 10 jan. 2001.

ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 159-166, 2010.

BRAGA, M. E. M. ; MORESCHI, S. R. M.; MEIRELES, M. A. A. Effects of extraction with supercritical fluid in *Curcuma longa* L. and *Zingiberofficinale* R. starches. **Carbohydrate Polymers**, Aveiro, v. 63, n. 3, p. 340-346, 2006.

BEAL, B. H. **Atividade Antioxidante e Identificação dos Ácidos Fenólicos do Gengibre (Zingiberofficinale)** [dissertação de Mestrado]. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. p. 87.

BERNI, R. F.; CHAVES, F.C.M.; PINHEIRO, J.B.; VAZ, A.P.A. Produção de açafrão em função de acessos e do peso de rizomas-semente. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 765-770, 2014.

CAI, L.; CHOI, I.; HYUN, J.N.; JEONG, Y. K.;BAIK, B. K. Influence of bran particle size on bread-baking quality of whole grain wheat flour and starch retrogradation. **Cereal Chemistry**, Sidney, v. 91, n. 1, p. 65-71, 2014.

COUTO, R.O.; VALGAS, A.B.; BARA, M.T.F.; PAULA, J. R. Caracterização físico-química do pó das folhas de *Eugenia dysentericad.* (*Myrtaceae*). **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 6, n. 3, p. 59-69, 2009.

COZZOLINO, S. Nutracêuticos: o que Significa. **Revista da Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica**, Higienópolis, v. 55, n. 5, p. 5-7, 2012.

CHEN, X.; LI, X.; MAO, X.; HUANG, H.; MIAO, J. ; GAO, W. Study of Different Effects of drying methods About Properties physico chemical structure and in vitro digestibility of *Fritillariathunbergii* Miq. (Zhebeimu) Flours. **Food and Bioproducts Processing**, London, v. 98, n. 1, p. 266-274, 2016.

CRUZ-OREA, A.; PITSI, G.; JAMÉE, P.; THOEN, J. Phase transitions in the starch-water system studied by adiabatic scanning calorimetry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, v. 50, n. 6, p. 1335-1344, Mar. 2002

CUONG, N. V. et al. Preparation, characterization and antibacterial curcumin encapsulated chitosan-PAA silver nanocomposite films. In: 5 th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam. **Springer International Publishing**, 2015. p. 58-61.

FDA.FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2002.**Bacteriologicalanalytical manual**. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/~eban/ban-4html>. Acesso em: 20/004/2014.

GONZÁLES, M. R.; FLORES, P.B.Z.; PÉREZ, L. A. B. Efecto Del grado de acetilación em las características morfológicas y físico-químicas Del almidón de plátano. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, Iztapalapa, v. 8, n. 3, p. 291-297, 2009.

GONÇALVES, M. F. V.; SARMENTO, S. B. S.; DIAS, C. T. S.; MARQUEZINI, N. Tratamento térmico do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sob baixa umidade em microondas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 270-276, 2009.

GOVINDARAJ, P. ; KANDASUBRAMANIAN, B.; KODAM, K. molecular interactions and antimicrobial activity of curcumin (*Curcuma longa*) loaded polyacrylonitrile films. **Materials Chemistry and Physics**, Sidney, v. 147, n. 1, p. 934-941, 2014.

GRYNKIEWICZ, G.; ŚLIFIRSKI, P. Curcumin and curcuminoids in quest for medicinal status. **Acta Biochimica Polonica**, Warsaw, v. 59, n. 2, p. 201-12, 2012.

HUANG, J.; ZHAO, L.; MAN, J.; WANG, J.; ZHOU, W.; ZHI, H.; WEI, C. Comparison of physicochemical properties of type B non-traditional starches from different sources. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 78, n. 1, p. 165-172, 2015.

Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Rapid pasting method using the newport rapid viscoanalyser**. Vienna, 1995. 10 p. (Standard, 162).

KHATOON, S.; SREERAMA, Y. N.; RAGHAVENDRA, D.; SUVENDU.; BHATTACHARYA, S.; BHAT, K. K. . Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starches. **Food Research International**, Essex, v. 42, n.10, p. 1426-1422, 2009.

KOSSI, N. C. N.; BOURASSA, P.; MANDEVILLE, J. S.; BEKALE, L.; BARIYANGA, J.; RIAHI, H. T. Locating the binding sites of antioxidant resveratrol , curcumin and genistein with TRNA. **International Journal of biological macromolecules**, Guildford, v. 80, n. 1, p. 41-47, 2015.

KRISHNAKUMAR, I. M. ; NINAN, K. D.; KUTTAN, R.; MALIAKEL, B. Enhanced absorption and pharmacokinetics of fresh turmeric (*curcuma longa l*) derived curcuminoids in comparison with the standard curcumin from dried rhizomes. **Journal of Functional Foods**, Manitoba, v. 17, n. 1, p. 55-65, 2015.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 579-588, 2007.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

LEMO, A. R.; RÊGO, JÚNIOR N. O.; SÃO JOSÉ, A. R.; PEREIRA, M. L.A.; SILVA, M. V. Atividade antioxidante e correlação com fenólicos totais em genótipos de Urucum (*Bixaorellana L.*). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 62-68, 2011.

LIU, Z.; GAO, W.; MAN, S; ZHANG, Y.; LI, H.; SHANSHAN, W.; ZHANG, J.; LIU, C. Synergistic effects of RhizomaParidis and Rhizoma Curcuma longa in different animal tumor models. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, Copenhagen, v. 38, n. 1, p. 31-40, 2014.

LIMA, B. N. B.; CABRAL, T. B.; NETO, R. P. C.; TAVARES, M. I. B. Estudo do Amido de Farinhas Comerciais Comestíveis. **Polímeros**, vol. 22, n. 5, p. 486-490, 2012.

MILLER G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, p. 426, 1959.

MELO, C. M. T.; FARIA, J. V. Composição centesimal, compostos fenólicos e atividade antioxidante em partes comestíveis não convencionais de seis olerícolas composition, phenolic compound sandantioxi danta ctivity in conventional note diblepart s of six vegetables. **Revista Biociencia**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 93-100, 2014.

MELO, E. A. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; LEAL, F. L. L.; CAETANO, A. C. S.; NASCIMENTO, R. J. Capacidade antioxidante de hortaliças usualmente consumidas. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 639-644, 2006.

MISHRA, A.; KUMAR. R.; TYAGI. A.; KOHAAR, I.; HEDAU, S.; BHARTI AC.; SARKER, S.; DEY, D.; SALUJA, D.; DAS, B. Curcuminmodulatescellular AP-1, NF-kB, and HPV16 E6 proteins in oral cancer. **Ecancermedical Science**, Bristol, v. 9, 2015.

MIQUEL, J .; BERND, A.; SEMPERE, J. M .; DIAZ-ALPERI, J.; RAMIREZ,A. Antioxidants Turmeric : pharmacological effects and prospects for future clinical use. A review. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 37-46, 2002.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/Stärke**, v. 35, n. 12 , p. 407-41-, 1983

OSORIO-TOBÓN, J. F.; CARVALHO, P. I. N.; BARBERO, G. F; NOGUEIRA, G. C; ROSTAGNO, M. A; MEIRELES, M. A. A. Rapid analysis of curcuminoids from turmeric (*Curcuma longa* L) by high performance liquid chromatography performance using a cast - core column. **Food Chemistry**, Barking, v. 200, n. 1, p. 167-174, 2016.

PEREIRA, M. C. S.; TEIXEIRA, J.A.; JÚNIOR, V. A. P.; STEFANI, R. The Chitosan/corn mixture of starch films with *Brassica oleracea* extract (red cabbage) as hum visual indicator of deterioration of fish. **LWT-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 258-262, 2015.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH**. Fortaleza (CE): Embrapa, 2007. (Comunicado técnico 127).

RECENO, C.; BENSON, M.; DERUISSEAU, K. Effects of curcumin on the expression of antioxidants in single myofibers from aged mice. **The FASEB Journal**, Bethesda, v. 29, n. 1 Supplement, p. 825.16, 2015.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 620-628, 2008.

ROHAET, E.; RAFI, M.; SYAFITRI, U. D.; HERYANTO, R. Spectroscopy combined with chemometrics Infrared paragraph to *Curcuma longa* discrimination , *Curcuma xanthorrhiza*

and ZingiberCassumunar. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, Kidlington, v. 137, n. 1, p. 1244-1249, 2015.

SAHU, P. K.; SAHU, P. K.; SAHU, P. L.; AGARWAL, D. D. Relationship Structure - Activity and cytotoxicity evaluation of the antioxidant activity of curcumin derivatives. **Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters**, Oxford, v. 26, n. 4, p. 1342-1347, 2016.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Daves, v. 20, n. 2, p. 144-158, 1965

SURIYA, M.; BARANWAL, GARIMA .; BASHIR, M.; REDDY C.; HARIPRIYA, S. Influence of bleaching and drying methods About Molecular Structure and Properties foot yam Functional elephant (*paeoniifoliuskonjac*) flour. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdan, v. 68, n. 1, p. 235-243, 2016.

SPINELLO, A. M.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; CARMO, E. L. Misturas de farinhas de mandioca e de açafrão como novas matérias-primas para *snacks* extrusados. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, p.68-75, 2014.

SRICHUWONG, S.; SUNARTI, T. C.; MISHINA, T.; ISONO, N.; HISMATSU, M. Sarches from different botanical sources II; Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, Vieiro, v, 62, n. 1, p. 24-34, 2005.

WANG, J.;WANG, H.; ZHU, R.; LIU, Q.; FEI, J.; WANG, S. Anti-inflammatory activity of curcumin-loaded solid lipid nanoparticles in IL-1 β transgenic mice subjected to the lipopolysaccharide-induced sepsis. **Biomaterials**, Surrey, v. 53, p. 475-483, 2015.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica, e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 29, n. 4, p. 748-753, 2009.

WU, C. S. Composites based on renewable resources of natural and recycled fiber bioplastic polylactide malleable: Characterization and biodegradability. **The degradation of the polymer and Stability**, v. 94, n. 7, p. 1076-1084, 2009.

YONEMOTO, P. G.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. M. L.; Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 761-771, 2007.

ZAVAREZE , E. R.; STORCK, C. R.; CASTRO, L. A. S.; SCHIRMER, M. A.; DIAS, A. R. G. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. **Food Chemistry**, Barking, v. 121, n. 2, p.358-365, 2010.

CAPÍTULO 7

QUALIDADE DE SALGADINHOS EXTRUSADOS OBTIDOS A PARTIR DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ E CÚRCUMA EM PÓ

RESUMO

Os grãos quebrados de arroz (GQA) possuem baixo valor agregado e composição centesimal semelhante a dos grãos inteiros. A cúrcuma, rizoma com teores expressivos de compostos fenólicos e antioxidantes, é muito utilizada como condimento e para fins medicinais. O objetivo do presente estudo foi verificar a viabilidade de desenvolver *salgadinhos* extrusados a partir de diferentes níveis de substituição de GQA por cúrcuma em pó (CP), avaliando suas características físicas, microbiológicas e sensoriais. Além de determinar a composição centesimal, os compostos bioativos, e a capacidade antioxidante do produto selecionado. Delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos (0%, 2%, 4%, 6% e 8% e 10% de substituição de GQA por CP, e quatro repetições, foi utilizado. A substituição dos GQA por CP influenciou significativamente o índice de expansão, o volume específico, a dureza e os parâmetros instrumentais de cor, mas não interferiram sensorialmente nos atributos de aparência, cor, aroma e crocância. Os *salgadinhos* não apresentaram coliformes termotolerantes a 45°C, portanto são seguros para o consumidor. O salgadinho selecionado, com características físicas mais próximas do produto tradicional de milho, foi o obtido com 6% de substituição de GQA por CP, apresentando para cada 100 g, 0,91 g de cinzas, 7,76 g de proteínas, 4,78 g de lipídeos, 5,84 g de fibra alimentar total, 86,94 g de carboidratos, 396,94 kcal, 174,75 mg compostos fenólicos totais e 6,52% de capacidade de sequestro de radicais DPPH. A utilização de até 6% de substituição de grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó se mostrou viável, visto que mesmo gerando algumas alterações físicas não afetou a aceitação do consumidor, sendo uma alternativa para produtores de salgadinhos sem glúten. A cúrcuma é um ingrediente capaz de agregar valor sensorial (cor e sabor) e nutricional (teor de fibra alimentar e o valor energético) no *salgadinho* a base de grãos quebrados de arroz.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., subproduto, *Cúrcuma longa* L., extrusão, compostos bioativos, análise sensorial.

7.1 INTRODUÇÃO

A extrusão termoplástica é uma tecnologia de baixo custo e alta eficiência utilizada no processamento de alimentos, que permite desenvolver produtos rápidos e práticos, com propriedades nutricionais agregadas, dependendo da composição das matérias-primas utilizadas (RODRIGUEZ-MIRANDA et al. 2011; BISHARAT et al., 2015). O tempo limitado e a vida corrida dos tempos modernos têm levado ao aumento do consumo de produtos prontos-para-comer (*salgadinhos*), devido ao sabor agradável e a facilidade de consumo (WANI; KUMAR, 2016).

Dessa forma, há necessidade de agregar valor nutricional a esses produtos, pois a cada dia a população está mais consciente sobre saúde e bem-estar, procurando por alimentos que não apenas sacie a fome, mais os forneçam nutrientes necessários para uma vida saudável. Várias matérias-primas podem ser utilizadas no processo de extrusão, de preferência aquelas que contenham quantidades expressivas de amido tais como arroz, milho, trigo, batata, inhame, mandioca, entre outros (LUTOSA; LEONEL; MISHAN, 2010; CARDOSO et al. 2015).

Os grãos quebrados de arroz (GQA) constituem um subproduto do polimento deste cereal, que possui baixo valor agregado, e normalmente é destinado a ração animal. Apesar de possuir composição rica em amido, que pode substituir as matérias-primas tradicionalmente utilizadas na produção de *salgadinhos*, como a farinha de trigo ou os gritz de milho (SOUZA, et al. 2013).

Na literatura pode ser encontrado *salgadinhos* de farinhas mistas a base de vários cereais em combinação com vegetais e tubérculos. No entanto, não se sabe da combinação de grãos GQA e cúrcuma em pó (CP). Este tubérculo destaca-se por suas propriedades medicinais devido ao alto teor de compostos fenólicos e antioxidantes em sua composição (NAM, et al. 2014). Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi verificar a viabilidade de desenvolver *salgadinhos* extrusados a partir de diferentes níveis de substituição de GQA por cúrcuma em pó (CP), avaliando suas características físicas, microbiológicas e sensoriais. Além de determinar a composição centesimal, os compostos bioativos, e a capacidade antioxidante do produto selecionado, visando agregar valor ao subproduto da indústria arrozeira, além de diversificação de produtos à base de cúrcuma.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1 Matérias-primas

Na formulação dos *salgadinhos* se utilizaram cúrcuma em pó (CP) e grãos quebrados de arroz (GQA). Estes foram gentilmente doados pela indústria Cristal Alimentos, situada em Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. Enquanto a cúrcuma em pó (CP), oriunda do município de Mara Rosa, Goiás, foi adquirida no comércio de Goiânia, Goiás.

7.2.2 Preparo das matérias-primas

As partículas grossas dos GQA se assemelham à dos gritz de milho, material tradicionalmente utilizado na fabricação de *salgadinhos* extrusados, por isso os GQA foram utilizados da mesma forma que chegaram da indústria. A CP passou por peneira de 0,842 mm (20 mesh) para melhorar a homogeneidade, foi acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD) metalizados com alumínio para impedir a passagem da luz, e armazenada a -18°C.

7.2.3 Processamento dos salgadinhos

Os salgadinhos foram processados em Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Agroindustriais – Labdarsa, da Escola de Agronomia Universidade Federal de Goiás, em extrusora mono rosca (Imbramaq, PQ 30, Ribeirão Preto, Brasil), com três zonas de aquecimento, camisa estriada helicoidal, diâmetro da matriz de 4 mm, rotação da rosca de 60 Hz, temperatura na primeira, segunda e terceira zonas de extrusão de 41°C, 61°C, 84°C, respectivamente. Água destilada foi adicionada as misturas experimentais por meio de uma pipeta para atingir uma umidade final de 12,5 g 100 g⁻¹. Delineamento inteiramente casualizado (DIC) foi utilizado para a produção dos *salgadinhos* experimentais, com seis tratamentos (com níveis de substituição dos GQA por CP de 0%; 2%; 4%; 6%, 8% e 10%), e quatro repetições originais, totalizando vinte e quatro amostras experimentais. Após o processo de extrusão, os extrusados foram secos a 100°C em estufa de circulação forçada de

ar por 20 min, e após o resfriamento a temperatura ambiente, os produtos extrusados foram embalados em sacos PEBD. Estes foram selados e armazenados em local seco e fresco, até serem executadas as análises de cor, volume específico, índice de expansão e dureza. Antes do teste de aceitação sensorial, os extrusados foram saborizados por meio de um borrifador com uma mistura de óleo vegetal, sal e ervas finas (tomilho, manjerição, estragão, orégano e salsa), até completa distribuição na superfície do produto.

7.2.4 Cor instrumental

Os parâmetros instrumentais de cor dos extrusados foram analisados através de colorímetro (Banking Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA), calibrado com placa de porcelana branca, a fim de se obter um padrão, e então foram analisados parâmetros: L = luminosidade (zero = preto e 100 = branco), a* (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho) b* (-100 até zero = azul, do zero ao + 70 = amarelo). A partir das leituras dos parâmetros a* e b*, também foram calculados o croma (saturação da cor) (Equação 1), e ângulo Hue (tonalidade ou matriz) (Equação 2). Três amostras foram analisadas por repetição, com três leituras cada.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Equação 1}$$

$$H^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Na qual:

C* = cromaticidade;

H° = ângulo Hue;

Tan⁻¹ = arco tangente.

7.2.5 Volume específico

O volume específico dos extrusados foi determinado pelo método do deslocamento de massa ocupada, utilizando-se sementes de painço, com auxílio de uma proveta graduada, conforme o método descrito por (LEONEL et al., 2006). A massa foi

determinada em balança semi-analítica e o volume específico (mL g^{-1}) obtido pela razão entre o volume médio e a massa.

7.2.6 Índice de expansão

O índice de expansão representa a razão entre a expansão radial final do extrusado e o diâmetro da matriz do extrusor. Dez amostras de cada repetição foram analisadas ao acaso, as quais foram medidas utilizando-se um paquímetro digital.

7.2.7 Dureza instrumental

A dureza foi determinada após a secagem, utilizando-se um texturômetro (*Stable Micro Sistem*), (TA HD Plus, Godalming, UK), com velocidade de pré-teste 1 mm s^{-1} , de teste $0,5 \text{ mm s}^{-1}$, e de pós-teste 10 mm s^{-1} , e distância de 60 mm percorrida pelo probe HDP/KS10 (10 Blade Kramer). O valor foi obtido através da média aritmética das 3 determinações de força e ruptura de 20 g de extrusados por repetição, e expresso em Newton (N), de acordo com o manual do equipamento.

7.2.8 Microscopia eletrônica de varredura

Após desidratação a vácuo, os *salgadinhos* foram separadamente colocados em suportes de alumínio (stubs) e recobertos com uma película de ouro, e observados no Microscópio Eletrônico de Varredura –ME (Jeol, JSM – 6610, São Paulo, Brasil). As micrografias de superfície foram realizadas em aumentos de ordem de 30 vezes.

7.2.9 Risco microbiológico

As análises microbiológicas dos *salgadinhos* seguiram as normas da Food and Drug Administration (FDA, 2002). As amostras em três diluições (10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3}) foram analisadas quanto à pesquisa de *Salmonella SP*, utilizando Caldo Tetracionato e Caldo

Selenito, por plaqueamento em superfície; bolores e leveduras, também por plaqueamento em superfície em Ágar Batata Dextrose; *Bacillus cereus* por plaqueamento em superfície em ágar Mannitol Egg Yolk Polymyxin Agar; e Coliformes a 45°, por plaqueamento em profundidade em Ágar Bile Vermelho Violeta.

7.2.10 Aceitação sensorial

A aceitação dos salgadinhos foi obtida por meio de preenchimento da ficha sensorial, utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos (9 gostei muitíssimo, 5 nem gostei, nem desgostei e 1 desgostei muitíssimo), por 50 provadores não treinados de ambos os gêneros, o que é recomendado para produtos em teste de laboratório, a fim de compor um grupo homogêneo e manter a representatividade do público alvo (STONE; SIDEL, 2004). Os provadores foram alunos e funcionários da escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. As amostras foram servidas de forma aleatória sequencial, com códigos de três dígitos, e analisados os atributos: aparência, cor, sabor, aroma e crocância, além de intenção de compra. Para esta, a escala utilizada foi de cinco pontos (5= certamente compraria e 1= certamente não compraria) (Anexo A.1 e A.2).

7.2.11 Análise estatística e seleção do melhor salgadinho

Os dados obtidos foram analisados por meio de análise de variância, com elaboração de modelos de regressão e construção de gráficos para uma melhor visualização, com auxílio do aplicativo *Statistica* (Statsoft, Statistica 7.0, Tulsa, EUA). A partir dos dados obtidos foi selecionado o *salgadinho* mais desejável (SNS), considerado aquele com índice de expansão, volume específico, cromaticidade a^* e b^* , dureza mais próximos dos de um *salgadinho* de milho existente no mercado, além de maior nota de aceitação sensorial. No *salgadinho* selecionado foram determinados a composição centesimal, a propriedade antioxidante e o teor de compostos fenólicos totais.

7.2.12 Composição centesimal

A umidade foi quantificada por dessecação a 105°C em estufa com circulação de ar até peso constante; as cinzas por pesagem após incineração a 550°C em forno mufla; o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6,25 resultou no teor de proteína bruta; os lipídeos por extração com éter de petróleo P.A. em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra alimentar total foi utilizada amostra desengordurada da extração por Soxhlet, seguindo método enzimico-gravimétrico. O teor de carboidratos foi calculado pela diferença entre 100 e a soma das porcentagens de água, proteína, lipídeos totais e cinzas. O valor energético (kcal) calculado multiplicando o peso/g de carboidratos e proteínas por 4 e o peso/g dos lipídeos por 9. Todas as análises foram realizadas em três amostras em triplicata, conforme AOAC (2012).

7.2.13 Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais

Para determinação da atividade antioxidante dos *salgadinhos*, foi utilizado o método de captura de radicais DPPH (2,2 difenil-1-picril-hidrazil), de acordo com a metodologia descrita por Rufino et al. (2007). A determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método de Folin-Ciocalteu, como descrito por Singleton e Rossi (1965), que se fundamenta na redução dos ácidos fosfomolibídico e fosfotungstístico na presença de formas fenólicas, com formação de complexos de coloração azul que absorvem fortemente entre 620 e 700nm.

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.3.1 Propriedades físicas dos extrusados

O nível de substituição de GQA por CP nos *salgadinhos* extrusados foi significativo para todas as respostas avaliadas. O modelo linear foi mais ajustado para o índice de expansão, o modelo quadrático para o volume específico e coordenada de cromaticidade b^* , e o modelo cúbico para a luminosidade, coordenada de cromaticidade a^* , e Croma, ângulo

Hue dos *salgadinhos* extrusados, explicando de 61 a 99% das respostas. O modelo cúbico ajustado para a dureza, apesar de significativo ($p < 0,05$) obteve coeficiente de determinação muito baixo, servindo apenas para verificar a tendência das respostas, enquanto os demais podem ser considerados preditivos (Tabela 7.1 e Apêndices F.3.1 a F.3.8).

A substituição dos GQA por CP levou a um decréscimo do índice de expansão dos extrusados, que foi maior naqueles com zero e 2% de substituição, e menor nos demais, que não diferiram entre si (Figura 7.1A, Apêndice E.3.1). Os valores de índice de expansão verificados neste estudo foram maiores que os reportados por Trombini, Leonel e Mischan (2013), que obtiveram valores entre 2,12 e 2,56, para extrusados de farinha de soja e fécula de mandioca. E próximos aos obtidos por Mikaloušek et al. (2014) para extrusados de milho (3,99 a 4,73).

O volume específico dos extrusados, assim como o IE, diminuiu à medida que aumentou o nível de substituição de GQA por CP (14,94 a 9,87 mL g⁻¹). Os maiores valores para volume específico também foram verificados nos extrusados com zero e 2% de substituição, e os menores nos demais, que não diferiram entre si (Figura 7.1B, Figura 7.2, Apêndice E.3.1). O volume específico do extrusado com 6% de substituição de CP foi o que mais se aproximou do *salgadinho* de milho comercial analisado (7,78 g mL⁻¹).

Tabela 7.1. Modelos ajustado, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e nível de significância para índice de expansão, volume específico, coordenadas de cor (luminosidade, valor “a” e valor “b”) e dureza dos extrusados obtidos com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó.

Parâmetro físico	Modelo	R^2_{aj}	p
Índice expansão	$y = 3,76 - 0,005x$	0,61	0,000115
Volume específico	$y = 15,25 - 1,34x + 0,08x^2$	0,86	0,000001
Luminosidade	$y = 78,22 - 3,08x + 0,53x^2 - 0,03x^3$	0,79	0,000012
a*	$y = 7,07 - 1,23x + 0,32x^2 - 0,02x^3$	0,98	0,000001
b*	$y = 21,48 + 8,17x - 0,46x^2$	0,97	0,000001
Croma	$y = 21,72 + 11,53x - 1,48x^2 + 0,07x^3$	0,99	0,000001
Ângulo Hue	$y = 70,49 + 7,62x - 1,38x^2 + 0,07x^3$	0,96	0,000001
Dureza	$y = 98,12 - 21,81x + 4,87x^2 - 0,27x^3$	0,41	0,015785

Os valores obtidos no presente estudo para o volume específico (Figura 7.2B, Apêndice E.3.1) foram superiores aos reportados por Leonel et al. (2008) para extrusados de

farinha mista de mandioca e banana, que variaram de 1,5 a 8,5 g mL⁻¹. Segundo os mesmos autores essa variação de VE em extrusados, provavelmente, é devido ao tipo de amido e demais substâncias presentes nas misturas, responsável pelas transformações e variações de volume e peso que a massa fundida sofre durante o processo de extrusão. A substituição dos GQA por CP ao nível de 2% levou a um decréscimo significativo ($p \leq 0,05$) da dureza em relação ao extrusado com 100% de GQA. Acima de 2%, a gradual substituição dos GQA por CP levou a um aumento significativo ($p \leq 0,05$) nos demais tratamentos, chegando o extrusado com 10% de substituição de GQA por CP a não diferir do extrusado com 0% de substituição (Figura 7.2C, Apêndice E.3.1).

O tratamento com 6% e 10% de CP obtiveram os maiores valores de dureza (96,48 e 104,33 N, respectivamente) apresentando-se com textura mais firme que o *salgadinho* comercial analisado (77,37 N). Essa diferença de dureza dos produtos obtidos em relação ao comercial analisado pode ser devido à utilização de partículas maiores utilizada no presente estudo ao qual influencia diretamente a dureza dos mesmos, pois quanto menor o tamanho das partículas menor a dureza dos extrusados (MENDONÇA et al, 1998).

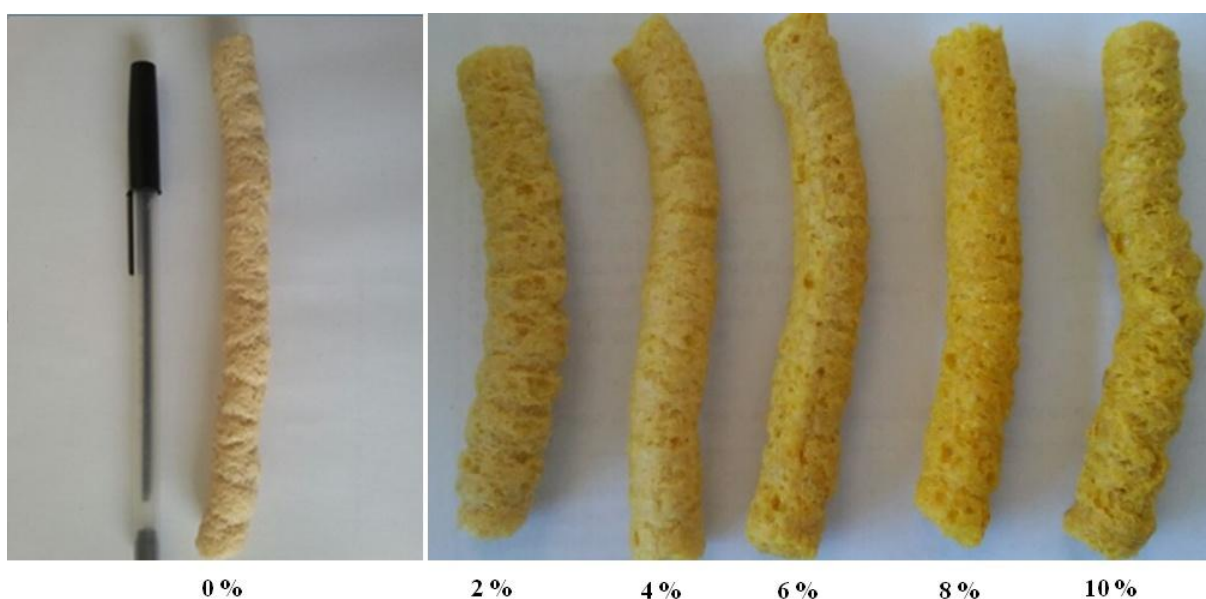


Figura 7.1. Extrusados com diferentes níveis de substituição de grãos quebrados de arroz por farinha de cúrcuma em pó (0, 2, 4, 6, 8, 10%).

A maior luminosidade foi obtida pelo extrusado sem CP, pois o arroz é mais claro que a cúrcuma. A partir de 2% de substituição dos GQA por CP verificou-se uma tendência à estabilização da luminosidade (Figura 7.2D). Todos os extrusados obtiveram valores de

luminosidade inferiores ao do produto comercial (Apêndice E.3.1). O valor da coordenada de cromaticidade a^* (Figura 7.2) diminuiu com substituição dos GQA por CP ao nível de 2% em relação ao extrusado sem CP. Com a gradual elevação do nível de substituição houve um aumento da coordenada de cromaticidade a^* , indicando uma tendência ao avermelhamento do produto, provavelmente porque a cúrcuma é rica em curcumina, pigmento amarelo-alaranjado (GUL et al., 2004).

Os extrusados com 4 e 6% de substituição dos GQA por CP obtiveram valores de a^* mais próximos ao salgadinho comercial de milho (Apêndice E.3.1). A coordenada de cromaticidade b^* , parâmetro que quando é positivo está relacionado à tonalidade amarela do material, obteve aumento significativo ($p \leq 0,05$) com a substituição dos GQA por CP (Figura 7.2F), pelo aumento do teor de curcumina. O extrusado com 6% de substituição de GQA por CP (Apêndice E.3.1) mais se assemelhou com o *salgadinho* comercial de milho, indicando que essa proporção pode ser utilizada sem destoar da cor do produto tradicional no mercado.

A saturação da cor (C^*) dos extrusados aumentou com o aumento da substituição dos GQA por CP. Houve diferença significativa entre todos os tratamentos. O extrusado com 6% de substituição de GQA por CP mais se assemelhou ao *salgadinho* comercial de milho analisado (Apêndice E.3.1). O ângulo de tonalidade (Hue) foi afetado pelo nível de substituição de CP, mas todos os valores estão próximos a tonalidade amarela (Figura 7.1), o que é interessante visto que o *salgadinho* comercial de milho analisado tem tonalidade semelhante (82,45). Pois, de forma geral, os parâmetros instrumentais de (L^* , a^* , b^* , croma e ângulo Hue) de um extrusado são importantes para aceitação sensorial dos mesmos.

Na microscopia eletrônica de varredura foi possível observar bolhas formadas pelo ar (Figura 7.3 A, B, C, D e E) indicando que nas condições utilizadas durante o processamento, a água presente no material sofreu evaporação, que possibilitou a expansão da massa durante a saída do material na matriz do extrusor. Não se verificou a presença de grânulos de amido intactos, indicando que a umidade, a temperatura e as demais condições de extrusão utilizadas foram adequadas para a total gelatinização dos polímeros. Não se observaram diferenças na estrutura microscópica dos salgadinhos (Figura 7.3). Além disso, todos os extrusados apresentaram massa compacta com paredes espessas provavelmente devido à alta viscoelasticidade do amido, que sofreu o processo de gelatinização completa durante a extrusão (BORRIES-MEDRANO; JAIME-FONSECA; AGUILAR-MENDEZ, 2016).

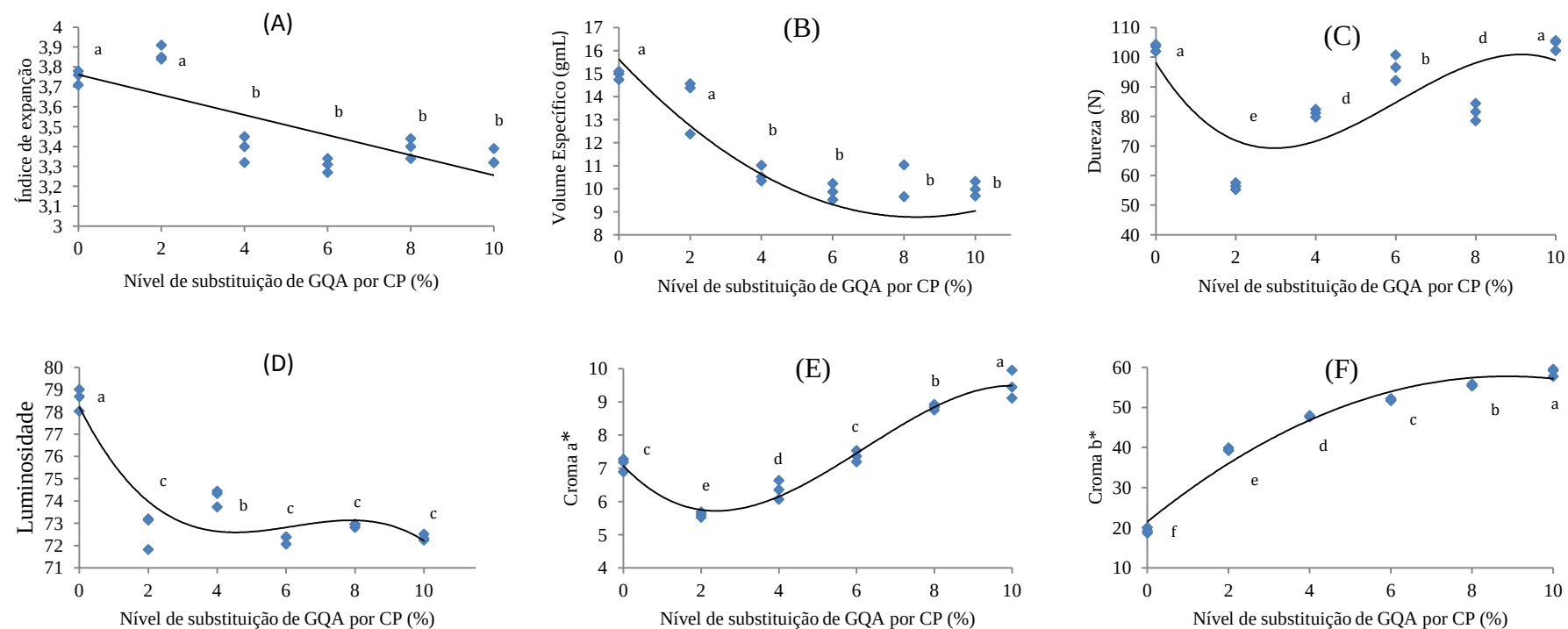


Figura 7.2. A: Índice de expansão; B: Volume específico (g mL^{-1}); C: Dureza (N); D: Luminosidade; E) Coordenada de cromaticidade a^* ; F) Coordenada de cromaticidade b^* dos extrusados em função do nível de substituição dos grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó. Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade.

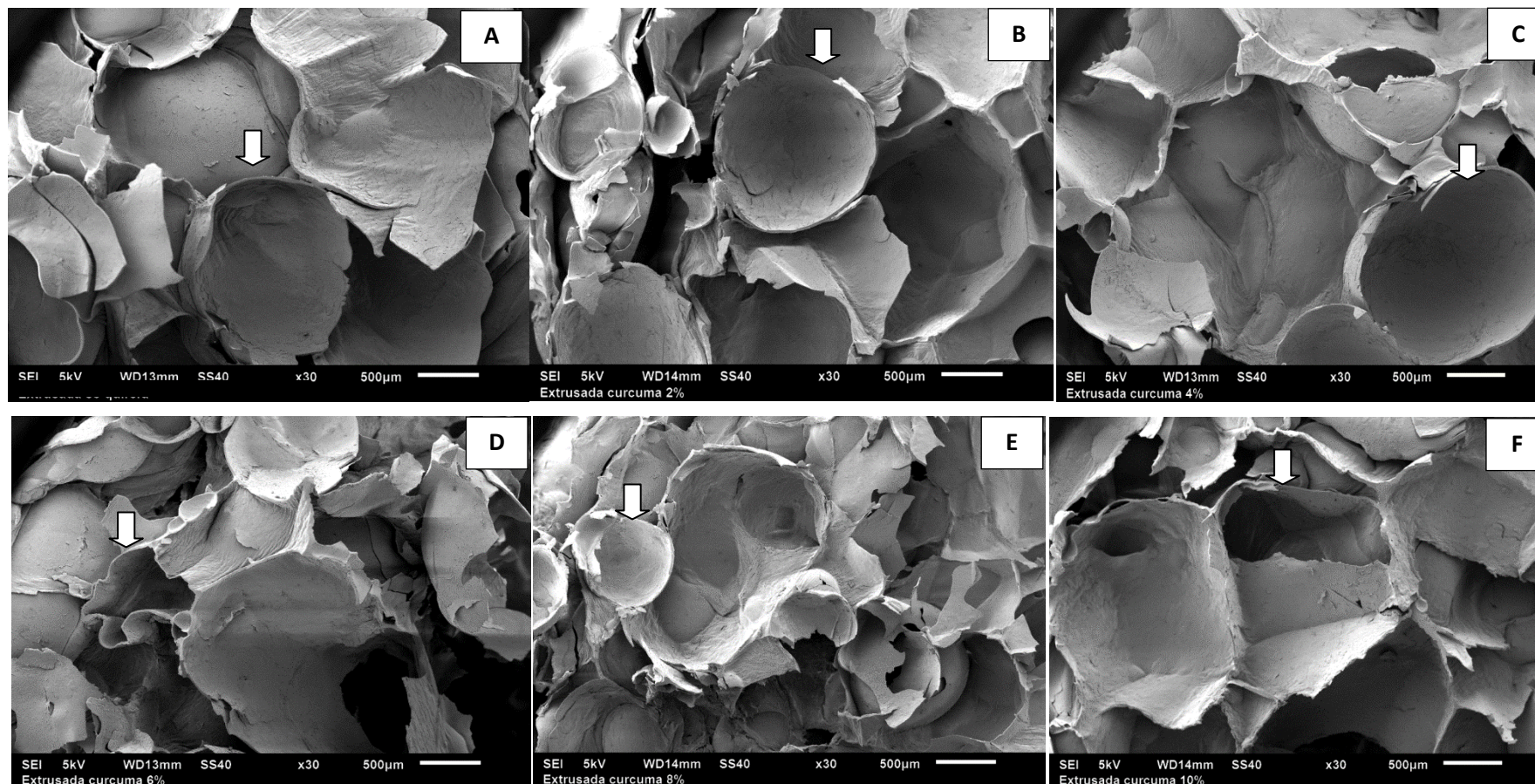


Figura 7.3. Micrografia Eletrônica de varredura (MEV) dos extrusados de GQA com diferentes teores de CP de 0 % (A), 2% (B), 4% (C), 6% (D), 8% (E), 10%(F).

7.3.2 Risco microbiológico e avaliação sensorial

Os extrusados analisados não apresentaram unidades formadoras de colônias para coliformes a 45°C e *Salmonella*, estando dentro do padrão estabelecido pela RDC nº 12 de 2 de janeiro de 2001, que regulamenta os padrões microbiológicos para alimentos, e estabelece para cereais matinais e produtos extrusados valores inferiores a 1 UFG g⁻¹ para coliformes a 45°C (BRASIL, 2001). Além disso, apresentaram baixa contagem de para bolores e leveduras (<100 UFC g⁻¹) e *Bacillus Cereus* (ausente). Este resultado era esperado uma vez que a temperatura empregada no processo consegue interromper o desenvolvimento microbiano (FORSYTHE, 2013). Na legislação brasileira não há um limite permitido para bolores e leveduras e *Bacillus Cereus* em extrusados, porém cabe ressaltar que as análises microbiológicas tiveram como objetivo verificar se os produtos estavam próprios para o consumo e, portanto, adequados para os testes sensoriais.

O nível de substituição dos GQA por CP afetaram a aceitação da cor, do aroma e do sabor, mas não afetou a aparência e a crocância (Figura 7.4). Quanto a aparência e crocância, todos os produtos foram aceitos, e os escores para aparência variaram entre “gostei ligeiramente” (6 - nível mínimo de aceitação pré-estabelecido) e “gostei moderadamente” (7), enquanto para crocância entre “gostei moderadamente” e “gostei muito” (8) (Figuras 7.4A, 7.4B, 7.4C, 7.4D e 7.4E).

Em relação à cor e o aroma todos os salgadinhos também foram aceitos, e receberam escores entre “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. Já para o sabor, apenas os produtos com nível de substituição de GQA por CP entre 2 e 6% foram aceitos, enquanto os demais obtiveram escores abaixo de “gostei ligeiramente”. Certamente porque o sabor dos mesmos ficou muito acentuado interferindo de forma negativa na aceitação do produto com maiores níveis de CP, devido à presença de substâncias voláteis e não voláteis com sabor residual amargo que é característico do tubérculo que são removidos somente mediante cristalização (GOVINDARAJAN, 1980). Além disso, a cúrcuma utilizada como ingrediente no presente estudo geralmente é utilizada como tempero que, juntamente com outros condimentos, acabam mascarando o sabor residual no alimento (SCOTTER, 2009), o que não ocorreu presente estudo.

Em relação à intenção de compra, o tratamento com 6% apresentou resposta positiva, com 32,69% dos provadores afirmando que “provavelmente compraria (4), seguido

pelos tratamento com 2 e 4% com 26,92% de afirmação (Figura 7.4F). Esse resultado indica que, se os mesmos fossem colocados à venda, possivelmente obteriam demanda satisfatória.

Já o tratamento com 10% de CP, assim como na aceitação sensorial, obteve a menor intenção de compra com 32,69% de afirmação pelos provadores que afirmaram que “provavelmente não compraria” (2) (Figura 7.4F). O que também pode ser devido ao sabor amargo conferido pelo alto teor de CP sendo, de forma geral, rejeitado mostrando que, certamente, o sabor foi o atributo que determinou a na intenção de compra do produto.

O tratamento com 6% de substituição de GQA por CP apresentou valores mais próximos ao produto comercial em relação aos parâmetros instrumentais de cor (a^* , b^* e C^*) e aceitação sensorial em relação a todos os atributos avaliados, o que é muito importante, visto que esses parâmetros são fundamentais para o consumidor na hora da compra.

7.3.3 Caracterização do salgadinho selecionado

O *salgadinho* selecionado apresentou baixo teor de umidade (Tabela 7.2), o que assegura sua estabilidade durante o armazenamento e qualidade microbiológica. O componente que obteve menor proporção foi às cinzas. O teor de proteínas foi próximo ao reportado por Dias et al. (2014) para salgadinho elaborado com diferentes níveis de substituição de farinha de trigo por polpa residual da lavagem da batata desidratada (5,36 a 8,12 g 100 g⁻¹), que assim como o salgadinho obtido nesse estudo, pode ser considerado como uma fonte de proteínas.

Para o teor de lipídeos e fibra alimentar total, os valores encontrados ficaram abaixo dos resultados relatados por Limberger et al. (2009) para salgadinhos de grãos quebrados de arroz (8,07 g 100 g⁻¹ e 4,37 g 100 g⁻¹ b.s., respectivamente). Já para os carboidratos o valor foi próximo aos resultados reportados por Carvalho et al. (2010) para extrusado de farinha milho (80 a 81,2 g 100 g⁻¹ em base seca), o que contribuiu para o alto valor calórico do salgadinho selecionado (Tabela 7.2). Dessa forma, observa-se que o este se destacou nas frações de proteína, lipídeos e carboidratos, além do valor energético, podendo ser incorporado na alimentação humana como fonte protéica e energética.

O *salgadinho* selecionado apresentou compostos fenólicos e capacidade antioxidante (Tabela 7.2), evidenciando que, apesar da temperatura empregada no processo de extrusão, parte desses componentes foi preservada. Sendo um fator positivo, visto que alguns autores consideram a temperatura como uma das principais causas na degradação de

compostos fenólicos e capacidade antioxidante, sendo capaz de alterar estrutura desses compostos e modificar sua funcionalidade (OLIVEIRA et al., 2009).

Tabela 7.2. Composição centesimal, valor energético, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante do salgadinho selecionado com relação de grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó de 94:6

Componente	Valor
Umidade ¹	5,81±0,07
Cinzas ¹	0,91±0,008
Proteínas ¹	7,36±0,28
Lipídeos ¹	4,78±0,21
Fibra alimentar total ¹	5,84±0,74
Carboidratos ¹	86,94±0,38
Valor energético ²	396,94±1,07
Compostos fenólicos ³	174,75±0,06
Antioxidantes ³	6,52±0,06

¹ g 100 g⁻¹(b.s.); ² kcal 100 g⁻¹ (b.u.); ² mg de ácido gálico 100 g⁻¹; ³ % sequestro de radicais de DPPH.

Esperava-se, no entanto, uma concentração maior desses componentes, visto que sua matéria-prima (cúrcuma) contém valores expressivos de compostos fenólicos (Capítulo 6). O processo de extrusão, mesmo com a temperatura branda utilizada, pode ter degradado parte dos compostos fenólicos e conseqüentemente parte da sua função antioxidante. Além disso, a quantificação dos compostos fenólicos presentes no salgadinho, responsáveis pela sua capacidade antioxidante segundo a literatura, pode ser influenciada pelo solvente utilizado na extração, interações com outros componentes do alimento, tamanho das partículas além de fatores ambientais como presença de luz e oxigênio (KAUR; KAPOOR, 2002).

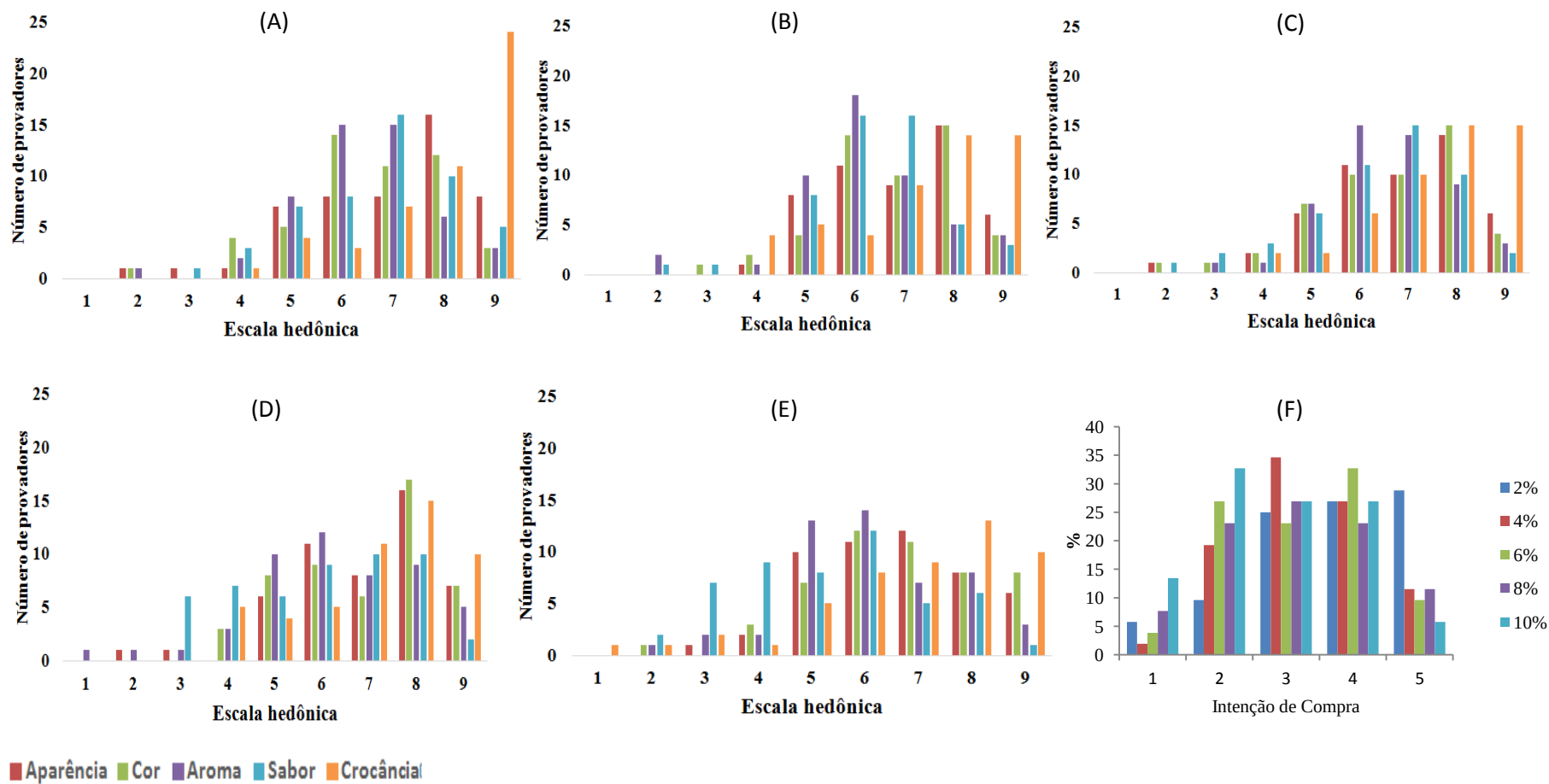


Figura 7.4. Aceitação sensorial dos extrusados em relação ao nível de substituição de grãos quebrados de arroz (GQA) por cúrcuma em pó (CP): A: 2%; B: 4%; C: 6%; D: 8%; E: 10%: Classificação hedônica, “1 desgostei muitíssimo”, “9 gostei muitíssimo”. F: Intenção de compra: Classificação hedônica: “1 certamente não compraria”, “5 certamente compraria”.

7.4. CONCLUSÃO

A utilização de até 6% de substituição de grãos quebrados de arroz por cúrcuma em pó se mostrou viável, visto que mesmo gerando algumas alterações físicas não afetou a aceitação do consumidor, sendo uma alternativa para produtores de salgadinhos sem glúten. A cúrcuma é um ingrediente capaz de agregar valor sensorial (cor e sabor) e nutricional (teor de fibra alimentar e o valor energético) do salgadinho a base de grãos quebrados de arroz.

REFERÊNCIAS

Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 19th ed. Washington: AOAC; 2012.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físicos e químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo, v. 1, 2008.

BISHARAT, G. I.; OIKONOMOPOULOU, V. P. ; PANAGIOTOU, N. M.; KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. Effect of Extrusion conditions about the structural properties of extruded corn Enriched with dehydrated vegetables. **Food Research International**, Essex, v. 53, n. 1, p. 1-14, 2013.

BORRIES-MEDRANO, E. V.; JAIME-FONSECA, M. R.; AUILAR-MENDES, M. A. Starch guar gum extruded: microstructure, the physicochemical properties and in- vitro digestion. **Food Chemistry**, Barking, v. 194, n. 1, p. 891-899, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF: março de 2014.

CARDOSO, R. F. V.; GARCIA, E. L.; CARMO, E. L.; MISCHAN, M. M.; LEONEL, M. Características físicas de farinha de batata cv. 'Ibituaçu' submetida a diferentes parâmetros de extrusão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.12, p. 2245-2241, 2015.

CARVALHO, C.W. P.; CRISTINA Y. TAKEITI; ONWULATA, C. I.; LESTER O. PORDESIMO. Effect Relative to size of particles on the physical properties of extruded corn flour: Particle Size Effect About Extrusion of corn flour. **Journal of Food Engineering**, London, v. 98, n. 1, p. 103-109, 2010.

DIAS, T. L.; OLIVEIRA, T. F.; CAMPUS, M. R. H.; SOARES-JUNIOR, M. S. Utilização da polpa de batata residual em *salgadinhos* como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 225-230, 2014.

FDA. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2002. **Bacteriological analytical manual**. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/~eban/ban-4html>. Acesso em: 20/004/2014.

GOVINDARAJAN, V.S. Turmeric-chemistry, technology and quality. CRC Critical. **Reviews Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 12, n. 3, p. 199 - 301, 1980.

GUL, N.; MUJAHID, T. Y.; JEHAN, N.; AHMAD, S. Studies on the Antibacterial Effect of different fractions of curcuma longa against urinary tract Infection Isolates. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 7, n. 12, p. 2055-2060, 2004.

OLIVEIRA, A. C ; VALENTIM, I. B.; GOULART, M. O. F.; SILVA, C. A.; BECHARA, E. J H.; TREVISAM, M. T. S. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, 689-702, 2009.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Antioxidants in fruits and vegetables – the millennium’s health. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 36, n. 7, 703-725, 2001.

LIMBERGER, V. M; COMAREL, C. G.; PATIAS, L. D.; BRUM, F. B.; EMANUELLI, T.; SILVA, L. P. Produção de salgadinho extrusado de quirera de arroz para uso na indústria de alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2590-2594, 2009.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Parâmetros de extrusão na produção de *salgadinhos* de farinha de mandioca enriquecidos com caseína. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 109-126, 2010.

LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; FILHO, J. D.; LEONE, S. Efeito de parâmetros de extrusão sobre as propriedades físicas de extrusados de banana e mandioca. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.14, n. 1, p. 51-58, 2008.

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.

MENDONÇA, S.; KARAM, L. B.; GROSSMANN, M. V. E. Análise instrumental de textura e sua correlação com a avaliação sensorial em “salgadinhos” comerciais. In: Congresso brasileiro de ciência de tecnologia de alimentos, 16. 1998. Rio e Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBCTA, 1998. p. 84-87. (v. 1).

NAM, S. M.; CHOI, J. H.; YOO, D. Y.; KIM, W.; JUNG, H. Y.; YOO, M.; LEE, S.; KIM, C. J.; YOON, Y. S.; HWANG, I. K. Effects of curcumin (*Curcuma longa*) on learning and spatial memory as well as cell proliferation and neuroblast differentiation in adult and aged mice by upregulating brain-derived neurotrophic factor and creb signaling. **Journal of Medicinal Food**, Larchmont, v. 17, n. 6, p. 641-649, 2014.

RODRIGUEZ-MIRANDA, J.; RUIZ-LOPE, L. L.; HERMAN-LARA, E.; MARTINEZ-SANCHEZ, C. E.; DELGADO-LICON, E.; VIVAR-VERA, M. A. Development of extruded *salgadinhos* using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*zea mays*) flour blends. **LWT - Science and Technology Food**, Amsterdam, v. 44, n. 3, p. 663-680, 2011.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH**. Fortaleza (CE): Embrapa, 2007. (Comunicado técnico 127).

FORSYTHE, STEPHEN J. **Microbiologia da segurança dos alimentos**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 602 p.

MIKALOUSK, L. B. S.; MONTEIRO, A. R. G.; MARQUES, D. R.; MONTEIRO, C. C. F. BENOSS, L. Influence of raw material particle size on the expansion of extruded corn. **Brazilian Journal of food Technology**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 28-32, 2014.

SCOTTER, M. The chemistry and analysis of annatto food colouring: a review. *Food Additives and Contaminants*, Abingdon, v. 26, n. 8, p. 1123-1145, 2009.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Daves, v. 20, n. 2, p. 144-158, 1965.

SOUZA, T. A. C.; SOARES-JÚNIOR, M. S.; CAMPOS, M. R. H.; SOUZA, T. S. C.; DIAS, T.; FIORDA, F. A. Bolos sem glúten a base de arroz quebrado e casca de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 717-728, 2013.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. 3. ed. New York: Academic Press. 2004. 408 p.

TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Desenvolvimento de *salgadinhos* extrusados a partir de misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 43, n.1, p.178-184, 2013.

WANI, S. A.; KUMAR, P. Development and parameter optimization of promise based health extruded in oats fenugreek and pea. **Food Bioscience**, Wuxi, v. 14, n.1, p. 34-40, 2016.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A farinha de grãos quebrados de arroz, polpa de açaí liofilizada e cúrcuma em pó reúnem características físicas, químicas e microbiológicas extremamente vantajosas, com alto potencial como ingrediente alimentar de baixo custo.
- A cúrcuma é um ingrediente capaz de agregar valor sensorial (cor e sabor) e nutricional (teor de fibra alimentar e o valor energético) no salgadinho a base de grãos quebrados de arroz.
- É viável a produção de cereal matinal a partir de grãos de arroz quebrados e polpa de açaí liofilizada, com características similares às dos produtos comerciais, aceitação sensorial, além de alto valor nutricional e funcional.
- O processo de extrusão afeta componentes químicos, funcionais, propriedades térmicas e de pasta das misturas de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz. Fazendo-se necessárias novas investigações de forma a preservar, principalmente, os compostos fenólicos e sua capacidade antioxidante.

APÊNDICES

Apêndice A – Médias e Desvios-Padrão

APÊNDICE A 1.1. Média dos dados experimentais de IE, VE, L, a*, b* e dureza dos extrusados em diferentes proporções de PAL em substituição aos GQA.

Tratamento	IE	VE	L	a*	b*	Dureza
0%	3,75 ^a ±0,04	14,94 ^a ±0,18	78,57 ^a ±0,49	7,11 ^c ±0,20	19,3 ^a ±0,69	103,32 ^a ±1,19
5%	3,81 ^a ±0,05	14,85 ^a ±0,08	55,23 ^b ±0,22	10,65 ^a ±0,28	15,23 ^b ±0,35	38,628 ^e ±1,70
10%	3,69 ^a ±0,06	13,18 ^b ±0,51	47,5 ^c ±0,10	10,01 ^b ±0,20	8,55 ^c ±0,09	47,62 ^d ±2,24
15%	3,22 ^b ±0,04	10,97 ^c ±0,21	41,76 ^d ±0,43	9,81 ^b ±0,04	6,18 ^d ±0,04	64,25 ^c ±0,36
20%	3,09 ^c ±0,08	11,36 ^c ±0,23	40,41 ^e ±0,16	8,41 ^d ±0,04	2,91 ^e ±0,01	89,60 ^b ±1,69
Comercial	-	10,69±0,14	47,81±0,22	14,25±0,17	18,35±0,56	77,87±0,48

Médias seguidas de desvio-padrão; Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade de erro; IE= índice de expansão; VE=volume específico (mL g⁻¹); Dureza (N)

APÊNDICE B- Análise de variância (ANOVA)

APÊNDICE B.1.1. Análise de variância dos fatores e regressão para o índice de expansão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

	SQ	g.l	QM	F	p
Média	42,68812	1	42,68812	14453,79	0,000000
Trat	0,03251	1	0,03251	11,01	0,006856
Trat ²	0,04578	1	0,04578	15,50	0,002323
Trat ³	0,02241	1	0,02241	7,59	0,018729
Erro	0,03249	11	0,00295		

APÊNDICE B.1.2. Análise de variância dos fatores e regressão para o volume específico em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

	SQ	g.l	QM	F	p
Média	676,9573	1	676,9573	7666,504	0,000000
Trat	1,4742	1	1,4742	16,696	0,001802
Trat ²	4,9451	1	4,9451	56,004	0,000012
Trat ³	5,2334	1	5,2334	59,268	0,000009
Erro	0,9713	11	0,0883		

APÊNDICE B.1.3. Análise de variância dos fatores e regressão para a luminosidade em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

	SQ	g.l	QM	F	p
Média	18680,34	1	18680,34	17530,57	0,000000
Trat	428,30	1	428,30	401,94	0,000000
Trat ²	92,46	1	92,46	86,77	0,000001
Trat ³	37,81	1	37,81	35,48	0,000095
Erro	11,72	11	1,07		

APÊNDICE B.1.4. Análise de variância dos fatores e regressão para a cromaticidade a^* em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

	SQ	g.l	QM	F	p
Média	157,8929	1	157,8929	866,1817	0,000000
Trat	11,7755	1	11,7755	64,5990	0,000006
Trat ²	5,4540	1	5,4540	29,9200	0,000195
Trat ³	2,6582	1	2,6582	14,5824	0,002850
Erro	2,0051	11	0,1823		

APÊNDICE B.1.5. Análise de variância dos fatores e regressão para a cromaticidade b^* em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

	SQ	g.l	QM	F	p
Média	1307,239	1	1307,239	1860,971	0,000000
Trat	83,126	1	83,126	118,337	0,000000
Trat ²	7,459	1	7,459	10,619	0,006845
Erro	8,429	12	0,702		

APÊNDICE B.1.6. Análise de variância dos fatores e regressão para a dureza em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

	SQ	g.l	QM	F	p
Média	31890,74	1	31890,74	1608,816	0,000000
Trat	4738,13	1	4738,13	239,028	0,000000
Trat ²	2456,78	1	2456,78	123,939	0,000000
Trat ³	1265,89	1	1265,89	63,862	0,000007
Erro	218,05	11	19,82		

APÊNDICE C- Análise de variância (ANOVA)

APÊNDICE C.2.1. Análise de variância dos fatores de regressão para umidade antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	827,8847	1	827,8847	8091,326	0,000000
ns	11,3358	1	11,3358	110,790	0,000000
Error	1,3301	13	0,1023		

APÊNDICE C.2.2. Análise de variância dos fatores de regressão para proteína antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	23,91081	1	23,91081	363,9720	0,000000
ns	3,32338	1	3,32338	50,5887	0,000020
ns ²	3,02899	1	3,02899	46,1075	0,000030
ns ³	2,92098	1	2,92098	44,4633	0,000035
erro	0,72264	11	0,06569		

APÊNDICE C.2.3. Análise de variância dos fatores de regressão para cinzas antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	2,154930	1	2,154930	451,3455	0,000000
ns	0,534996	1	0,534996	112,0539	0,000000
erro	0,062068	13	0,004774		

APÊNDICE C.2.4. Análise de variância dos fatores de regressão para cinzas depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	1,834835	1	1,834835	510,5923	0,000000
ns	0,579700	1	0,579700	161,3171	0,000000
error	0,046716	13	0,003594		

APÊNDICE C.2.5. Análise de variância dos fatores de regressão para lipídeos antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	11,2061	1	11,2061	21,0464	0,000509
ns	203,9376	1	203,9376	383,0193	0,000000
erro	6,9218	13	0,5324		

APÊNDICE C.2.6. Análise de variância dos fatores de regressão para lipídeos depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	2,891441	1	2,891441	24,80472	0,000252
ns	6,777757	1	6,777757	58,14414	0,000004
error	1,515386	13	0,116568		

APÊNDICE C.2.7. Análise de variância dos fatores de regressão para fibras antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	16,47507	1	16,47507	23,8330	0,000485
ns	80,09050	1	80,09050	115,8597	0,000000
ns ²	29,26657	1	29,26657	42,3373	0,000044
ns ³	18,06073	1	18,06073	26,1268	0,000338
erro	7,60398	11	0,69127		

APÊNDICE C.2.8. Análise de variância dos fatores de regressão para fibras depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	201,1844	1	201,1844	340,8707	0,000000
ns	94,3456	1	94,3456	159,8516	0,000000
error	7,6727	13	0,5902		

APÊNDICE C.2.9. Análise de variância dos fatores de regressão para carboidratos antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	44773,45	1	44773,45	56440,76	0,000000
ns	262,56	1	262,56	330,98	0,000000
erro	10,31	13	0,79		

APÊNDICE C.2.10. Análise de variância dos fatores de regressão para carboidratos depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	45108,56	1	45108,56	254255,7	0,000000
ns	22,01	1	22,01	124,1	0,000000
error	2,31	13	0,18		

APÊNDICE C.2.11. Análise de variância dos fatores de regressão para valor energético antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	819555,6	1	819555,6	56633,85	0,000000
ns	4689,2	1	4689,2	324,04	0,000000
error	188,1	13	14,5		

APÊNDICE C.2.12. Análise de variância dos fatores de regressão para valor energético depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	534530,6	1	534530,6	152644,9	0,000000
ns	96,4	1	96,4	27,5	0,000205
ns ²	29,2	1	29,2	8,3	0,013617
erro	42,0	12	3,5		

APÊNDICE C.2.13. Análise de variância dos fatores de regressão para índice de absorção de água antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	16,63045	1	16,63045	2354,705	0,000000
ns	0,28049	1	0,28049	39,715	0,000027
error	0,09181	13	0,00706		

APÊNDICE C.2.14. Análise de variância dos fatores de regressão para índice de absorção de água depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	117,9161	1	117,9161	829,8035	0,000000
ns	3,5101	1	3,5101	24,7013	0,000325
ns2	1,4227	1	1,4227	10,0120	0,008157
erro	1,7052	12	0,1421		

APÊNDICE C.2.15. Análise de variância dos fatores de regressão para índice de solubilidade em água antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	13,28010	1	13,28010	104,1488	0,000001
ns	1,21894	1	1,21894	9,5595	0,010252
ns2	2,06856	1	2,06856	16,2226	0,001990
ns3	1,62991	1	1,62991	12,7825	0,004355
erro	1,40262	11	0,12751		

APÊNDICE C.2.16. Análise de variância dos fatores de regressão para índice de solubilidade em água depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	8463,240	1	8463,240	2431,938	0,000000
ns	398,517	1	398,517	114,515	0,000000
ns2	36,822	1	36,822	10,581	0,006920
erro	41,760	12	3,480		

APÊNDICE C.2.17. Análise de variância dos fatores de regressão para índice de absorção de óleo depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	13,19405	1	13,19405	581,8363	0,000000
ns	0,44812	1	0,44812	19,7612	0,000799
ns2	1,01815	1	1,01815	44,8988	0,000022
erro	0,27212	12	0,02268		

APÊNDICE C.2.18. Análise de variância dos fatores de regressão para compostos fenólicos totais antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	6071,32	1	6071,32	275,057	0,000000
ns	61468,86	1	61468,86	2784,802	0,000000
ns2	5215,14	1	5215,14	236,268	0,000000
erro	264,88	12	22,07		

APÊNDICE C.2.19. Análise de variância dos fatores de regressão para compostos fenólicos totais depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	3086,44	1	3086,44	320,805	0,000000
ns	13123,74	1	13123,74	1364,081	0,000000
ns2	342,70	1	342,70	35,620	0,000065
erro	115,45	12	9,62		

APÊNDICE C.2.20. Análise de variância dos fatores de regressão para antioxidantes antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	209,372	1	209,372	147,356	0,000000
ns	1495,631	1	1495,631	1052,623	0,000000
error	18,471	13	1,421		

APÊNDICE C.2.21. Análise de variância dos fatores de regressão para antioxidantes depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	20,61630	1	20,61630	296,2134	0,000000
ns	1,12120	1	1,12120	16,1094	0,002038
ns2	3,20347	1	3,20347	46,0272	0,000030
ns3	4,76488	1	4,76488	68,4614	0,000005
erro	0,76559	11	0,06960		

APÊNDICE C.2.22. Análise de variância dos fatores de regressão para croma C* antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	118,8132	1	118,8132	985,4032	0,000000
ns	17,6155	1	17,6155	146,0976	0,000000
ns2	5,4866	1	5,4866	45,5044	0,000032
ns3	1,8058	1	1,8058	14,9770	0,002608
erro	1,3263	11	0,1206		

APÊNDICE C.2.23. Análise de variância dos fatores de regressão para croma C* depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	2026,713	1	2026,713	2005,014	0,000000
ns	287,673	1	287,673	284,593	0,000000
error	13,141	13	1,011		

APÊNDICE C.2.24. Análise de variância dos fatores de regressão para ângulo Hue antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	13591,00	1	13591,00	3326,234	0,000000
ns	2824,16	1	2824,16	691,180	0,000000
ns2	1177,86	1	1177,86	288,267	0,000000
ns3	676,49	1	676,49	165,562	0,000000
erro	44,95	11	4,09		

APÊNDICE C.2.25. Análise de variância dos fatores de regressão para ângulo Hue depois da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	16024,95	1	16024,95	11758,46	0,000000
ns	166,36	1	166,36	122,07	0,000000
ns ²	13,81	1	13,81	10,14	0,008706
ns ³	9,96	1	9,96	7,31	0,020523
erro	14,99	11	1,36		

APÊNDICE C.2.26. Análise de variância dos fatores de regressão para entalpia de gelatinização antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	11413,43	1	11413,43	763,5997	0,000000
ns	571,55	1	571,55	38,2387	0,000047
ns ²	1003,33	1	1003,33	67,1265	0,000003
erro	179,36	12	14,95		

APÊNDICE C.2.27. Análise de variância dos fatores de regressão para quebra de viscosidade antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	583,1061	1	583,1061	347,0007	0,000000
ns	70,6246	1	70,6246	42,0280	0,000030
ns2	36,8035	1	36,8035	21,9014	0,000532
erro	20,1650	12	1,6804		

APÊNDICE C.2.28. Análise de variância dos fatores de regressão para retrogradação antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	189456,5	1	189456,5	7891,760	0,000000
ns	7404,1	1	7404,1	308,414	0,000000
ns2	1873,2	1	1873,2	78,026	0,000003
ns3	1037,1	1	1037,1	43,198	0,000040
erro	264,1	11	24,0		

APÊNDICE C.2.29. Análise de variância dos fatores de regressão para viscosidade final antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	714740,9	1	714740,9	11782,41	0,000000
ns	20287,0	1	20287,0	334,43	0,000000
ns2	3659,9	1	3659,9	60,33	0,000009
ns3	1849,1	1	1849,1	30,48	0,000180
erro	667,3	11	60,7		

APÊNDICE C.2.30. Análise de variância dos fatores de regressão para viscosidade de pasta antes da extrusão em relação ao teor de polpa de açaí liofilizada em substituição aos grãos quebrados de arroz.

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
intercept	207641,9	1	207641,9	6342,682	0,000000
ns	13992,2	1	13992,2	427,409	0,000000
ns2	2585,0	1	2585,0	78,962	0,000001
erro	392,8	12	32,7		

APÊNDICE D- Teste ANOVA fatorial

APÊNDICE D.2.1. Teste ANOVA fatorial para umidade em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	2566,245	1	2566,245	39790,09	0,000000
Tratamento	171,277	1	171,277	2655,68	0,000000
Ns	14,537	4	3,634	56,35	0,000000
Tratamento*Ns	3,244	4	0,811	12,57	0,000028
Erro	1,290	20	0,064		

APÊNDICE D.2.2. Teste ANOVA fatorial para proteína em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	457,8563	1	457,8563	15043,86	0,000000
Tratamento	2,9802	4	0,7450	24,48	0,000000
Ns	1,9401	1	1,9401	63,75	0,000000
Tratamento*Ns	1,9160	4	0,4790	15,74	0,000006
Erro	0,6087	20	0,0304		

APÊNDICE D.2.3. Teste ANOVA fatorial para cinzas em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	24,49945	1	24,49945	32887,99	0,000000
Tratamento	0,01187	1	0,01187	15,93	0,000717
Ns	1,20643	4	0,30161	404,88	0,000000
Tratamento*Ns	0,00215	4	0,00054	0,72	0,587192
Erro	0,01490	20	0,00074		

APÊNDICE D.2.4. Teste ANOVA fatorial para lipídeos em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	532,0668	1	532,0668	2840,766	0,000000
Tratamento	145,7671	4	36,4418	194,567	0,000000
Ns	187,5414	1	187,5414	1001,306	0,000000
Tratamento*Ns	69,6396	4	17,4099	92,953	0,000000
Erro	3,7459	20	0,1873		

APÊNDICE D.2.5. Teste ANOVA fatorial para fibras em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	3369,745	1	3369,745	18165,89	0,000000
Tratamento	15,052	1	15,052	81,15	0,000000
Ns	377,312	4	94,328	508,51	0,000000
Tratamento*Ns	65,366	4	16,342	88,10	0,000000
Error	3,710	20	0,185		

APÊNDICE D.2.6. Teste ANOVA fatorial para carboidratos em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	248380,5	1	248380,5	1149875	0,000000
Tratamento	155,7	1	155,7	721	0,000000
Ns	225,0	4	56,3	260	0,000000
Tratamento*Ns	67,9	4	17,0	79	0,000000
Error	4,3	20	0,2		

APÊNDICE D.2.7. Teste ANOVA fatorial para valor energético em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	5226155	1	5226155	1094341	0,000000
Tratamento	4676	1	4676	979	0,000000
Ns	3760	4	940	197	0,000000
Tratamento*Ns	1361	4	340	71	0,000000
Error	96	20	5		

APÊNDICE D.2.8. Teste ANOVA fatorial para ângulo Hue* em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	36048,43	1	36048,43	125384,9	0,00
Tratamento	3846,53	1	3846,53	13379,1	0,00
Ns	10459,00	4	2614,75	9094,7	0,00
Tratamento*Ns	1501,82	4	375,45	1305,9	0,00
Error	5,75	20	0,29		

APÊNDICE D.2.9. Teste ANOVA fatorial para croma C* em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	4143,900	1	4143,900	71488,46	0,00
Tratamento	143,488	1	143,488	2475,39	0,00
Ns	118,930	4	29,732	512,93	0,00
Tratamento*Ns	231,713	4	57,928	999,35	0,00
Error	1,159	20	0,058		

APÊNDICE D.2.10 Teste ANOVA fatorial para índice de absorção de água em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	5226155	1	5226155	1094341	0,000000
Tratamento	4676	1	4676	979	0,000000
Ns	3760	4	940	197	0,000000
Tratamento*Ns	1361	4	340	71	0,000000
Erro	96	20	5		

APÊNDICE D.2.11. Teste ANOVA fatorial para índice de solubilidade em água em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	8108,213	1	8108,213	22883,60	0,00
Tratamento	5440,341	1	5440,341	15354,13	0,00
Ns	1088,288	4	272,072	767,86	0,00
Tratamento*Ns	1489,548	4	372,387	1050,98	0,00
Erro	7,086	20	0,354		

APÊNDICE D.2.12. Teste ANOVA fatorial para índice de absorção de óleo em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	112,8452	1	112,8452	7568,710	0,000000
Tratamento	0,3413	1	0,3413	22,891	0,000113
Ns	1,5364	4	0,3841	25,763	0,000000
Tratamento*Ns	0,9344	4	0,2336	15,667	0,000006
Erro	0,2982	20	0,0149		

APÊNDICE D.2.13. Teste ANOVA fatorial para compostos fenólicos totais em relação ao tratamento de extrusão

	SS	GL	MS	F	p
Intercept	1553763	1	1553763	130925,6	0,00
Tratamento	134909	1	134909	11367,9	0,00
Ns	475806	4	118951	10023,3	0,00
Tratamento*Ns	43169	4	10792	909,4	0,00
Error	237	20	12		

APÊNDICE D.2.14. Teste ANOVA fatorial para propriedade antioxidante em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	6563,840	1	6563,840	13662,84	0,000000
Tratamento	1009,500	1	1009,500	2101,31	0,000000
Ns	1546,709	4	386,677	804,88	0,000000
Tratamento*Ns	248,539	4	62,135	129,34	0,000000
Error	9,608	20	0,480		

APÊNDICE D.2.15. Teste ANOVA fatorial para antocianinas monoméricas em relação ao tratamento de extrusão

Fonte de variação	SS	GL	MS	F	p
Intercept	9036,392	1	9036,392	46164,22	0,00
Tratamento	4996,984	4	1249,246	6382,02	0,00
Ns	1043,717	1	1043,717	5332,04	0,00
Tratamento*Ns	665,925	4	166,481	850,50	0,00
Error	3,915	20	0,196		

APÊNDICE E- Médias e Desvio-Padrão

APÊNDICE E.3.1. Média dos dados experimentais de IE, VE, L, a*, b*, C*, Hue e dureza dos extrusados em diferentes proporções de CP em substituição aos GQA.

Nível de Substituição	IE	VE	L	a*	b*	c*	Hue	Dureza
0	3,75 ^a ±0,036	14,94 ^a ±0,18	78,57 ^a ±0,49	7,11 ^c ±0,19	19,30 ^f ±0,68	21,47 ^f ±0,46	70,12 ^c ±0,08	103,32 ^a ±1,18
2	3,86 ^a ±0,038	13,77 ^a ±1,21	72,72 ^c ±0,77	5,60 ^e ±0,08	39,49 ^e ±0,35	40,21 ^e ±1	81,99 ^a ±0,31	54,44 ^e ±1,15
4	3,39 ^b ±0,066	10,62 ^b ±0,35	74,17 ^b ±0,38	6,34 ^d ±0,28	47,74 ^d ±0,17	48,16 ^d ±0,19	82,42 ^a ±0,32	81,11 ^d ±1,29
6	3,30 ^b ±0,035	9,87 ^b ±0,35	72,27 ^c ±0,18	7,36 ^c ±0,17	51,91 ^c ±0,25	52,42 ^c ±0,22	81,92 ^a ±0,22	96,48 ^b ±4,30
8	3,39 ^b ±0,050	10,37 ^b ±0,69	72,91 ^c ±0,08	8,83 ^b ±0,085	55,53 ^b ±0,24	56,23 ^b ±0,23	80,95 ^b ±0,11	81,48 ^d ±2,93
10	3,34 ^b ±0,040	9,99 ^b ±0,31	72,36 ^c ±0,13	9,5 ^a ±0,42	58,78 ^a ±0,93	59,55 ^a ±0,97	80,82 ^b ±0,31	104,33 ^a ±1,82
Comercial	-	7,78	81,69	6,66	50,29	50,73	82,45	77,37

Médias seguidas de desvio-padrão; Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade de erro; IE= índice de expansão; VE=volume específico (mL g⁻¹); L: luminosidade; a*: croma a; b*: croma b; C*: cromaticidade; hue: ângulo hue (Graus); Dureza (N).

APÊNDICE F- Análise de Variância (ANOVA)

APÊNDICE F.3.1. Análise de variância e fatores de regressão para índice de expansão dos extrusados

	SQ	GL	QM	F	p
intercept	81,01091	1	81,01091	3873,892	0,000000
ns	0,53606	1	0,53606	25,634	0,000115
Error	0,33459	16	0,02091		

APÊNDICE F.3.2. Análise de variância e fatores de regressão para volume específico dos extrusados

	SQ	GL	QM	F	p
intercept	849,4780	1	849,4780	1345,791	0,000000
ns	29,5470	1	29,5470	46,810	0,000006
ns^2	12,2805	1	12,2805	19,456	0,000506
Error	9,4682	15	0,6312		

APÊNDICE F.3.3. Análise de variância e fatores de regressão para dureza dos extrusados

	SQ	GL	QM	F	p
intercept	30074,40	1	30074,40	171,0899	0,000000
ns	1576,09	1	1576,09	8,9662	0,009659
ns^2	1272,79	1	1272,79	7,2408	0,017568
ns^3	894,86	1	894,86	5,0908	0,040571
Error	2460,94	14	175,78		

APÊNDICE F.3.4. Análise de variância e fatores de regressão para luminosidade dos extrusados

	SQ	GL	QM	F	p
intercept	19112,95	1	19112,95	17407,36	0,000000
ns	31,32	1	31,32	28,52	0,000104
ns^2	15,34	1	15,34	13,97	0,002206
ns^3	10,27	1	10,27	9,35	0,008508
Error	15,37	14	1,10		

APÊNDICE F.3.5. Análise de variância e fatores de regressão para cor a dos extrusados

	SQ	GL	QM	F	p
intercept	156,2926	1	156,2926	2432,862	0,000000
ns	5,0088	1	5,0088	77,968	0,000000
ns^2	5,4299	1	5,4299	84,522	0,000000
ns^3	3,6392	1	3,6392	56,648	0,000003
Error	0,8994	14	0,0642		

APÊNDICE F.3.6. Análise de variância e fatores de regressão para coroma b* dos extrusados

	SQ	GL	QM	F	p
intercept	1685,190	1	1685,190	287,8618	0,000000
ns	1103,557	1	1103,557	188,5080	0,000000
ns^2	380,513	1	380,513	64,9987	0,000001
Error	87,812	15	5,854		

APÊNDICE F.3.7. Análise de variância e fatores de regressão para coroma C dos extrusados

	SQ	GL	QM	F	p
intercept	1474,456	1	1474,456	2051,313	0,000000
ns	440,798	1	440,798	613,253	0,000000
ns^2	117,766	1	117,766	163,840	0,000000
ns^3	62,511	1	62,511	86,968	0,000000
Error	10,063	14	0,719		

APÊNDICE F.3.8. Análise de variância e fatores de regressão para ângulo Hue dos extrusados

	SQ	GL	QM	F	p
intercept	15523,07	1	15523,07	19403,12	0,000000
ns	192,49	1	192,49	240,60	0,000000
ns^2	102,49	1	102,49	128,11	0,000000
ns^3	65,60	1	65,60	81,99	0,000000
Error	11,20	14	0,80		

ANEXOS

Anexo A- Fichas de Avaliação Sensorial

Anexo A.1. Ficha de aceitação sensorial

Ficha de avaliação sensorial com escala hedônica de nove pontos

Nome: _____

Idade: _____ Data: ____/____/____

Sexo: Feminino ()

Masculino ()

Você está recebendo amostras. Na escala, indique o quanto você gostou ou desgostou dos atributos relacionados no quadro abaixo.

Código	Aparência	Cor	Aroma	Sabor	Crocância
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____

9-Gostei muitíssimo

8- Gostei muito

7- Gostei moderadamente

6-Gostei ligeiramente

5- nem gostei/nem desgostei

4- desgostei ligeiramente

3- Desgostei moderadamente

2- Desgostei muito

1-Desgostei muitíssimo

Anexo A.2. Ficha de aceitação sensorial

Ficha de avaliação sensorial com escala hedônica de 5 pontos

Nome: _____

Idade: _____ Data: ____/____/____

Sexo: Feminino ()

Masculino ()

Com base em sua opinião, indique na escala abaixo sua atitude se você encontrasse este produto à venda.

Se eu encontrasse este **produto** a venda eu:

Código	Nota

5-Certamente compraria

4-Possivelmente compraria

3-Talvez comprasse/talvez não comprasse

2-Possivelmente não compraria

1-Certamente não compraria

Anexo A.3: Termo de consentimento- Análise Sensorial (FCA)

Universidade Federal de Goiás
Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Termo de Consentimento Livre Esclarecido
Convite a participação na Análise Sensorial

Você está sendo convidado a participar da pesquisa intitulada “Cereais matinais e snacks obtidos a partir de quirera de arroz e polpa de açaí liofilizada ou cúrcuma em pó” sob minha responsabilidade e do orientador Professor Manoel Soares Soares Junior cujo (s) objetivo (s) é (são) elaborar cereais matinais e snacks obtidos a partir de quirera de arroz e polpa de açaí liofilizada ou cúrcuma em pó com boa aceitação sensorial, visando o aproveitamento de resíduos do arroz, bem como a possibilidade de diversificação e de ampliação de novos produtos no mercado de extrusados.

Para avaliação das características sensoriais dos cereais e snacks serão realizados testes de aceitação e intenção de compra. Os riscos que podem estar associados a essa análise são os de alergia a qualquer um de seus ingredientes: arroz, cúrcuma e açaí. Não contém glúten. Caso ocorra alguma reação adversa após o consumo do produto, o pesquisador responsável assumirá todos os danos provocados à saúde do indivíduo e tomará as providências necessárias, inclusive o encaminhamento para atendimento médico e este será feito através do acionamento da equipe de primeiros socorros especializada, o SAMU pelo telefone 192. O (a) senhor (a) terá direito de pleitear indenização em caso de danos decorrentes de sua participação na pesquisa.

Ao participar desta pesquisa o (a) senhor (a) colaborará para o melhor conhecimento dos atributos sensoriais deste produto e para o maior aproveitamento industrial resíduos de arroz na forma de subprodutos. O (a) senhor (a) não terá nenhuma despesa para participar da pesquisa bem como nada será pago por sua participação.

É garantido o sigilo das informações assegurando sua privacidade quanto aos dados confidenciais na pesquisa. O resultado da avaliação dos provadores será de uso exclusivo nesta pesquisa e de acesso restrito aos pesquisadores.

No curso da pesquisa você tem os seguintes direitos:

- a) garantia de esclarecimento e resposta a qualquer pergunta;
- b) liberdade de abandonar a pesquisa a qualquer momento, mesmo que seu pai ou responsável tenha consentido sua participação, sem prejuízo para si ou para seu tratamento (se for o caso);
- c) garantia de que caso haja algum dano a sua pessoa, os prejuízos serão assumidos pelos pesquisadores ou pela instituição responsável inclusive acompanhamento médico e hospitalar (se for o caso).

Caso haja gastos adicionais, os mesmos serão absorvidos pelo pesquisador. Nos casos de dúvidas você deverá falar com seu responsável, para que ele procure os pesquisadores, a fim de resolver seu problema (Pesquisadora: Aryane Ribeiro Oliveira, Avenida São Jorge, s/ nº, Q24, L24, bairro São Judas Tadeu, telefone (62)8115-18190).

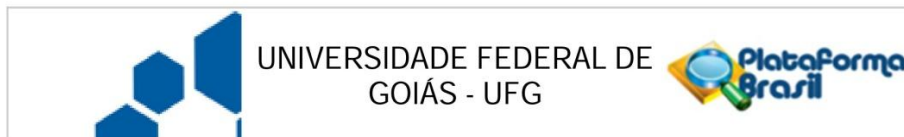
ASSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

Eu _____, portador do Rg _____ após ter recebido todos os esclarecimentos e assinado o TCLE, confirmo que o (a) menor recebeu todos os esclarecimentos necessários, e concorda em participar desta pesquisa. Desta forma, assino este termo, juntamente com o pesquisador, em duas vias de igual teor, ficando uma via sob meu poder e outra em poder do pesquisador.

Local/ data:

Assinatura do responsável: _____

Assinatura do pesquisador: _____

ANEXO A.4: Comprovante aprovação do projeto pelo comitê de ética**COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: CEREAIS MATINAIS E SNACKS OBTIDOS A PARTIR DE QUIRELA DE ARROZ E POLPA DE AÇAÍ LIOFILIZADA OU CURCUMA EM PÓ

Pesquisador: Aryane Ribeiro Oliveira

Versão: 4

CAAE: 42996715.6.0000.5083

Instituição Proponente: Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos

DADOS DO COMPROVANTE

Número do Comprovante: 019732/2015

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

Informamos que o projeto CEREAIS MATINAIS E SNACKS OBTIDOS A PARTIR DE QUIRELA DE ARROZ E POLPA DE AÇAÍ LIOFILIZADA OU CURCUMA EM PÓ que tem como pesquisador responsável Aryane Ribeiro Oliveira, foi recebido para análise ética no CEP Universidade Federal de Goiás - UFG em 17/03/2015 às 14:33.

Endereço: Prédio da Reitoria Térreo Cx. Postal 131

Bairro: Campus Samambaia

CEP: 74.001-970

UF: GO

Município: GOIANIA

Telefone: (62)3521-1215

Fax: (62)3521-1163

E-mail: cep.prpi.ufg@gmail.com

Anexo A.5 Normas do periódico

Normas do periódico LWT- Food Science and Technology



LWT- FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

An official journal of the Swiss Society of Food Science and Technology (SGLWT/ SOSSTA) and the International Union of Food Science and Technology (IUFoST).

DESCRIPTION

LWT - Food Science and Technology is an international journal that publishes innovative papers in the fields of **food chemistry**, **biochemistry**, **microbiology**, **technology** and **nutrition**. The work described should be innovative either in the approach or in the methods used. The significance of the results either for the science community or for the **food industry** must also be specified. Contributions written in English are welcomed in the form of review articles, short reviews, research papers, and research notes. Papers featuring animal trials are outside the scope of the journal and will not be considered for publication.

Database Coverage includes Current Contents, Cambridge Scientific Abstracts, Biological Abstracts, IFIS, Chemical Abstracts, Dairy Science Abstracts, Food Science and Technology Abstracts and AGRICOLA.

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our author services .

Please see our Guide for Authors for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our support pages: <http://support.elsevier.com>

IMPACT FACTOR

2015: 2.711 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2016

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Rakesh K. Singh, Dept. of Food Science & Technology, University of Georgia, Athens, GA 30602, Georgia, USA

Review Editor

Shridhar K. Sathe, Florida State University, Tallahassee, Florida, USA

Editors

Sam K.C. Chang, Mississippi State University, Mississippi State, Mississippi, USA

Emma Chiavaro, Università degli Studi di Parma, Parma, Italy

Ursula Gonzales-Barron, Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Bragança, Portugal

Vijay Juneja, U.S. Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service (ARS), Wyndmoor, Pennsylvania, USA

Catherine M.G.C. Renard, INRA Centre d'Avignon, Avignon, France **Harald Rohm**, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany **Mingyong Xie**, Nanchang University, Nanchang, China

Editorial Board Members

R. Amarowicz, Polish Academy of Sciences, Olsztyn, Poland

R. Buckow, CSIRO (The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), Victoria, Australia

J.-M. Chobert, French National Institute for Agricultural Research (INRA), Nantes, France

H. Corke, The University of Hong Kong, Hong Kong, China

R.M.S. Cruz, University of Algarve, Faro, Portugal

D. de Beer, The Agricultural Research Council (ARC), Stellenbosch, South Africa

R. Gormley, Teagasc, Dublin, Ireland

P. Gélinas, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), St.-Hyacinthe, Quebec, Canada

J. Hinrichs, Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany

D.G. Hoover, University of Delaware, Newark, Delaware, USA

W. Kerr, University of Georgia, Athens, Georgia, USA

W. Kneifel, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Vienna, Austria

U. Kulozik, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan, Germany

C. Lacroix, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, Zürich, Switzerland

H. N. Mishra, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India

M.P. Montero, Institute of Food Science, Technology and Nutrition (ICTAN-CSIC), Madrid, Spain

L. Nyström, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, Zurich, Switzerland

R. N. Reddy, Food and Drug Administration (FDA), Summit-Argo, Illinois, USA

Y.H. Roos, University College Cork, Cork, Ireland

C.M. Rosell, Institute of Agrochemistry and Food Technology, Paterna, Valencia, Spain

P. Schieberle, Technische Universität München, Garching, Germany

M. Schreiner, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Vienna, Austria

J. Shi, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Guelph, Ontario, Canada

H. Singh, Massey University, Palmerston North, New Zealand

D. Topping, CSIRO (The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), Adelaide, South Australia, Australia

H.M. Tuorila, University of Helsinki, Helsinki, Finland

M. Venkatachalam, The Hershey Company, Hershey, Pennsylvania, USA

S. Wang, Tianjin University, Tianjin, China

GUIDE FOR AUTHORS

INTRODUCTION

LWT - Food Science and Technology is an official journal of the Swiss Society of Food Science and Technology (SGLWT/SOSSTA) and the International Union of Food Science and Technology (IUFoST).

LWT - Food Science and Technology is an international journal that publishes innovative papers in the fields of food chemistry, biochemistry, microbiology, technology and nutrition. The work described should be innovative either in the approach or in the methods used. The significance of the results either for the science community or for the food industry must also be specified. Contributions that do not fulfil these requirements will not be considered for review and publication. Submission of a paper will be held to imply that it presents original research, that it has not been published previously, and that it is not under consideration for publication elsewhere.

Papers featuring animal trials are outside the scope of the journal and will not be considered for publication.

Essentials to ensure fast handling of Research papers and Short communications

- Manuscript-text **must** be saved as either a MS Word, Word Perfect, RTF, TEX or Plain ASCII file. Continuous line numbering **must** be added and the text **must** be double spaced.
- Research papers **must** be no longer than 5000 words, including abstract and references, but without tables, figures and the corresponding legends.
- Short communications **must** be no longer than 2500 words including abstract and references, but without tables, figures and the corresponding legends.
- Abstracts **must** not be longer than 200 words.

- You **must** include Keywords (≤ 5).
- Contact details of at least 3 suggested reviewers (name, affiliation and email address) **must** be included.

- Highlights **must** be included (a summary of your main achievements in 3-5 bullet points no more than 85 characters each).
- Figures and tables **must** be submitted as separate files and are clearly labeled.
- The international system of units (SI units) **must** be used only.
- If analytical data are reported in tables and/or figures: Number of replications should be mentioned in the legend or a footnote and standard error or other evidence of reliability of data must be given.
- Your Cover letter should explain the novelty of the research presented, that your paper presents original research, that it has not been published previously and that it is not under consideration for publication elsewhere.
- For reviews: please check the homepage and Guide for Authors for detail.
- **Please note** that this list is not extensive and purely highlights the most important aspects of a submission. For full details on all article types please refer to the online Guide for Authors at <http://www.elsevier.com/journals/lwt-food-science-and-technology/0023-6438/guide-for-authors>.

Types of paper

Three types of peer-reviewed papers will be published:

Review articles. These concise reviews should present a focused aspect on a topic of current interest or an emerging field. They are not intended as comprehensive literature surveys covering all aspects of the topic, but should include all major findings and bring together reports from a number of sources. They should aim to give balanced, objective assessments by giving due reference to relevant published work, and not merely present the prejudices of individual authors or summarise only work carried out by the authors or by those with whom the authors agree. Undue speculation should also be avoided. These reviews will receive priority in publication.

The reviews may address pertinent issues in food science, technology, processing, nutritional aspects of raw and processed foods and may include nutraceuticals, functional foods, use of "omics" in food quality, food processing and preservation, and food production. Topics to be covered should be at the cutting edge of science, well thought out, succinct, focused and clear. Ideally, the review should provide a view of the state of the art and suggest possible future needs and trends.

All articles will be subjected to peer review process.

Submit an abstract of the proposed review to the Reviews Editor (Professor Shridhar Sathe, ssathe@fsu.edu for consideration prior to preparing the full length manuscript. Abstract of the proposed work should include the following:

- a. The abstract should identify the need for the proposed article, the intended audience, and five key words.
- b. Title (120 characters or less)
- c. Short abstract (≤ 300 words).
- d. Identify the address and contact information for the contact author. The contact information should include author name, postal address, telephone number, fax number, and email.
- e. Anticipated time needed to complete the proposed work once the initial abstract has been approved.

Manuscript Preparation

- a. All lines and pages must be continuously numbered.
- b. All text should be double-spaced.
- c. Total manuscript length $\leq 3,000$ words (text portion).

- d. Total number of Tables ≤ 5 .
- e. Total number of figures ≤ 5 .
- f. Maximum number of references (including those cited in tables and figures) not to exceed 50.
- g. In the reference list identify five (5) key references (indicated by an * in front of the reference in the reference section). In two to three sentences explain why this reference is a key reference.

Research papers. Reports of complete, scientifically sound, original research which contributes new knowledge to its field. The paper must be organised as described in Article Structure below. Papers should not exceed 5000 words (approximately 18 typed double-spaced pages) including abstract and references but excluding figures, tables and their captions. All lines and pages must be continuously numbered.

Short communications. Brief reports of scientifically sound, original research of limited scope of new findings. Short communications have the formal organisation of a full paper. Such notes will receive priority of publication. Short communications should not exceed 2500 words (approximately 9 typed double-spaced pages). All lines and pages must be continuously numbered.

Contact details for submission

Submission for all types of manuscripts to *LWT - Food Science and Technology* proceeds totally online. Via the Elsevier Editorial System (EES) website for this journal, <http://ees.elsevier.com/lwt>, you will be guided step-by-step through the creation and uploading of the various files.

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information pages on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication.

By submitting this manuscript, the authors agree that text, equations, or figures from previously published articles or books have been clearly identified in full and their origin clearly explained in the adjacent text, with appropriate references given at the end of the paper. Duplication of text is rarely justified, even with diligent referencing. Exceptions may be made for descriptions of standard experimental techniques, or other standard methods used by the author in the investigation; but an appropriate citation is preferable. Authors who duplicate material from their own published work in a new article, without clearly identifying the repeated material and its source as outlined above, are self-plagiarising.

Declaration of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. More information.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see 'Multiple, redundant or concurrent publication' section of our ethics policy for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the

responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck.

Authorship

All authors should have made substantial contributions to all of the following: (1) the conception and design of the study, or acquisition of data, or analysis and interpretation of data, (2) drafting the article or revising it critically for important intellectual content, (3) final approval of the version to be submitted.

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see more information on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (more information). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license.

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. More information.

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can share your research published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the Open Access Publication Fee. Details of existing agreements are available online.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs.
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is **USD 3000**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form.

This journal has an embargo period of 12 months.

Elsevier Publishing Campus

The Elsevier Publishing Campus (www.publishingcampus.com) is an online platform offering free lectures, interactive training and professional advice to support you in publishing your research. The College of Skills training offers modules on how to prepare,

write and structure your article and explains how editors will look at your paper when it is submitted for publication. Use these resources, and more, to ensure that your submission will be the best that you can make it.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Authors must provide and use an email address unique to themselves and not shared with another author registered in EES, or a department.

Review Process

A peer review system involving two or three reviewers is used to ensure high quality of manuscripts accepted for publication. The Editor-in-Chief and Editors have the right to decline formal review of the manuscript when it is deemed that the manuscript is 1) on a topic outside the scope of the Journal, 2) lacking technical merit, 3) focused on foods or processes that are of narrow regional scope and significance, 4) fragmentary and provides marginally incremental results, or 5) is poorly written.

Referees

Please submit the names and institutional e-mail addresses of several potential referees. For more details, visit our Support site. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

Peer Reviews

It is the journal policy to keep the peer reviewing anonymous. Names of reviewers are only revealed if they are in agreement with the request of the author. When submitting a manuscript, authors may indicate names of experts who are not suitable/appropriate for reviewing the paper.

PREPARATION

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

All lines must be consecutively numbered throughout the manuscript.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered

1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower- case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented

separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Abstracts should not exceed 200 words for Research papers and Short communications, or 300 words for Review articles.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view example Highlights on our information site.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 5 keywords, using British spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

If possible the Food Science and Technology Abstracts (FSTA) Thesaurus should be used (IFIS Publ., Shinfield, Reading RG2 9BB, UK <http://www.foodScienceCentral.com>).

Chemical compounds

You can enrich your article by providing a list of chemical compounds studied in the article. The list of compounds will be used to extract relevant information from the NCBI PubChem Compound database and display it next to the online version of the article on ScienceDirect. You can include up to 10 names of chemical compounds in the article. For each compound, please provide the PubChem CID

of the most relevant record as in the following example: Glutamic acid (PubChem CID:611). Please position the list of compounds immediately below the 'Keywords' section. It is strongly recommended to follow the exact text formatting as in the example below:

Chemical compounds studied in this article

Ethylene glycol (PubChem CID: 174); Plitidepsin (PubChem CID: 44152164); Benzalkonium chloride (PubChem CID: 15865)

More information.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers

xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI.

Do not use %, ppm, M, N, etc. as units for concentrations. If analytical data are reported, replicate analyses must have been carried out and the number of replications must be stated.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors can build footnotes into the text, and this feature may be used. Otherwise, please indicate the position of footnotes in the text and list the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of

1000 dpi. TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. Further information on the preparation of electronic artwork.

Figure captions

Figures must be comprehensible without reference to the text. Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used in the caption. If analytical data are reported, replicate analyses must have been carried out. State the number of replications and provide standard error or other evidence of reliability of the data.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Include a short but informative title. Provide the experimental conditions, as far as they are necessary for understanding. The reader should not have to refer to the text in order to understand the tables.

Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

If analytical data are reported, replicate analyses must have been carried out. State the number of replications and give standard error or other evidence of reliability of data.

Probabilities may be indicated by * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ and *** $P < 0.001$.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles, such as Mendeley and Zotero, as well as EndNote. Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide.

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/lwt-food-science-and-technology>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference style

Text: Citations in the text should follow the referencing style used by the American Psychological Association. You are referred to the Publication Manual of the American Psychological Association, Sixth Edition, ISBN 978-1-4338-0561-5, copies of which may be ordered online or APA Order Dept., P.O.B. 2710, Hyattsville, MD 20784, USA or APA, 3 Henrietta Street, London, WC3E 8LU, UK.

List: references should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J. A. J., & Lupton, R. A. (2010). The art of writing a scientific article.

Journal of Scientific Communications,
163, 51–59. Reference to a book:

Strunk, W., Jr., & White, E. B. (2000). *The elements of style*. (4th ed.). New York: Longman, (Chapter 4).

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G. R., & Adams, L. B. (2009). How to prepare an electronic version of your article. In B. S. Jones, & R. Z. Smith (Eds.), *Introduction to the electronic age* (pp. 281–304). New York: E-Publishing Inc.

Reference to a website:

Cancer Research UK. Cancer statistics reports for the UK. (2003). <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> Accessed 13.03.03.

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier

Web products, including ScienceDirect. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary material

Supplementary material can support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Please note that such items are published online exactly as they are submitted; there is no typesetting involved (supplementary data supplied as an Excel file or as a PowerPoint slide will appear as such online). Please submit the material together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. If you wish to make any changes to supplementary data during any stage of the process, then please make sure to provide an updated file, and do not annotate any corrections on a previous version. Please also make sure to switch off the 'Track Changes' option in any Microsoft Office files as these will appear in the published supplementary file(s). For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages.

Database linking

Elsevier encourages authors to connect articles with external databases, giving readers access to relevant databases that help to build a better understanding of the described research. Please refer to relevant database identifiers using the following format in your article: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN). More information and a full list of supported databases.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Interactive plots

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. Full instructions.

AFTER ACCEPTANCE

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized Share Link providing 50 days free access to the final published version of the article on ScienceDirect. The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's Webshop. Corresponding authors who have published their article open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.