

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LILIAN CRISTIAN MATTOS LOPES

**DETERMINAÇÃO DAS MELHORES CONDIÇÕES DE
EXTRUSÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE FEIJÃO
PARA UTILIZAÇÃO COMO INGREDIENTE DE ALIMENTOS
INSTANTÂNEOS**

Goiânia
2010

LILIAN CRISTIAN MATTOS LOPES

**DETERMINAÇÃO DAS MELHORES CONDIÇÕES DE
EXTRUSÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE FEIJÃO
PARA UTILIZAÇÃO COMO INGREDIENTE DE ALIMENTOS
INSTANTÂNEOS**

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

Orientadora: Prof^a Dr^a Kátia Flávia Fernandes

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Raquel de Andrade
Cardoso Santiago

Goiânia
2010

À Minha Família,
Meu Porto Seguro, Meu Bem Maior!

MINHA GRATIDÃO

Construir esta história foi algo diferente de tudo....

O feijão e a extrusão me fizeram descobrir um mundo desconhecido, me aproximaram de conhecimentos que eram como uma caixinha de surpresa, me apresentou pessoas que me construíram e me fez descobrir as várias arestas do mundo da ciência!

Minha gratidão, ao meu tesouro, herança, meu bem maior. Meu Deus... sei que caminhas comigo no percurso desta vida e mais uma vez provou os seus passos junto aos meus.

Minha gratidão, aos meus "velhinhos". Devo a vocês, o meu alicerce, com vocês aprendi os conceitos da vida, que não se compra com dinheiro e sim com amor e dedicação. Esta vitória é nossa.

Lúidi! meu companheiro... amigo.... incentivador! Sua determinação me motiva. Obrigada por me 'suportar' neste caminho. Amo você!

Márcio e Livia, irmãos, que me deram cunhados e sobrinhos! Juntos aprendemos a tabuada e as primeiras palavras... Com estes títulos, chegou o hoje. Amo vocês!

Companheiras de mestrado (Opa tem o Flávio)! Companheiros! O fim chega..... e deixa para nós a certeza de que pessoas certas estiveram conosco. Obrigada por direta ou indiretamente terem sido o meu trampolim.

Professores e funcionários do mestrado, obrigado por acreditarem na pesquisa e no novo! Sem isso não nasceriam novos "mestres".

Minha gratidão ao convite da prof. Mara Reis. Aquele folder divulgando o mestrado, me estigou... me confundiu, me deu medo, mas me convenceu!

Minha gratidão as companheiras da USP, pela tentativa mesmo que frustrada, mas era somente o começo!

Família Ibiá! Resumo de atenção e carinho....quem diria que eu seria apresentada para a "bandinha de feijão", dentro do carro, no meio de uma viagem de férias! Que Deus retribua aquilo que vocês doam com tanto amor!

Mabel....meu exílio! Vocês me acolheram e desvendaram comigo, os mistérios das variáveis feijão e extrusão. Meus queridos amigos que não pouparam esforços, tempo e paciência para conseguirmos a tão sonhada farinha de feijão extrusada. À vocês, minha gratidão!

Embrapa, obrigada pelas portas abertas!

FANUT, minha casa! A você que vive aquelas paredes, salas e gabinetes! Minha gratidão.... por opiniões, ajuda, empréstimo de material, laboratório! Obrigada.

Raquel, a Técnica Dietética nos apresentou uma a outra.... O mestrado nos uniu pela extrusão! Obrigada por tudo... aprendi com as lágrimas e com nossas formulações. A gastronomia molecular que nos aguarde!

LQP, você foi a maior descoberta que tive neste período. Cheguei tímida, mas o acolhimento rendeu muitas histórias e cafés! Ganhei uma mãe e uma irmã!

Karla, seu desprendimento e facilidade em ajudar me fizeram "significativamente" melhor ! Vou sentir saudades das superfícies de respostas... das análises estatísticas, do minha capanga com milhões de artigos. Do enroladinho de queijo... das suas pamonhas. Minha gratidão! Ah, já ia esquecendo você, "BATISTA", foi a única citação 2010 no meu trabalho.

Prof., te resumo em coração grande e valente! Como te disse, você foi mais uma das grandes mulheres que cruzaram o meu caminho, para me ensinar a não ter medo do que eu não conheço! Obrigada pela confiança que fecundou no meu coração. Obrigada por desvendar comigo os mistérios dos resultados e a incógnita das conclusões. Vou sentir muitas saudades, deste tempo árduo, mas muito feliz! Pode deixar que eu bato na porta perguntando: tem café nesta casa?

Torrvalho, você vai longe menina! Com sua simplicidade e força de vontade...

Flávio, prometo que depois da defesa, faço a sua dieta! Obrigada pelo companheirismo!

RENDO À VOCÊS, MINHA GRATIDÃO

De tudo ficaram três coisas:

A certeza de que estamos sempre começando...

A certeza de que precisamos continuar...

A certeza de que seremos interrompidos antes de terminar...

Portanto, devemos:

Fazer da interrupção, um caminho novo...

Da queda, um passo de dança...

Do medo, uma escada...

Do sonho, uma ponte...

Da procura, um encontro...

(Fernando Pessoa)

RESUMO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) assume enorme importância na alimentação humana. Ele possui componentes essenciais à dieta, como proteínas, carboidratos e minerais. A bandinha de feijão consiste em um subproduto da indústria de feijão, porém, os seus aspectos nutricionais são mantidos. Uma alternativa para o aproveitamento de bandinha de feijão é a utilização da extrusão no desenvolvimento de produtos alimentícios. Diante deste quadro, o objetivo desta pesquisa foi produzir farinhas extrusadas da bandinha de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) da variedade Carioca, em diferentes condições de temperatura e umidade, a fim de atingir parâmetros tecnológicos e bioquímicos para sua utilização como ingrediente para alimentos instantâneos. Os grãos foram triturados a uma granulometria, entre 0,75 e 0,85 mm. A extrusão foi realizada em linha completa de extrusão utilizando extrusora modelo MI – 130 plus, velocidade de rotação da rosca 414 rpm, rosca simples e longa com 02 taxas de compressão e camisa helicoidal. Um modelo 2² foi aplicado para avaliar as condições de extrusão. As variáveis estudadas foram temperatura (150; 154; 164; 174 e 178°C) e umidade (12,3; 14; 18; 22 e 23,7%). Após a extrusão, os produtos moídos para obtenção de farinhas, foram avaliados quanto à composição centesimal, ao índice de absorção de água, solubilidade em água, capacidade de formação de gel, propriedades viscoamilográficas, inibidor de tripsina, digestibilidade *in vitro* de proteína e amido e qualidade microbiológica. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos, quanto à composição centesimal das farinhas, à exceção da umidade. Em relação às propriedades tecnológicas analisadas, houve diminuição da solubilidade em água de 33% na farinha crua para 15 a 23% nos extrusados. Houve aumento na absorção de água (9,1 a 23,9%) e melhora na capacidade de formação de gel (9% contra 11% da farinha crua). Quanto aos parâmetros de viscosidade das farinhas extrusadas, a viscosidade inicial aumentou com a diminuição da umidade e temperatura e foi observado ausência de pico de viscosidade. Os altos valores de quebra de viscosidade foram encontrados em temperaturas medianas e altos valores de umidade. Já a viscosidade final e tendência à retrogradação das farinhas extrusadas foi elevada quando foram usadas temperaturas medianas e baixas umidades. O processo provocou eliminação completa da atividade de inibidores de tripsina e aumento nas digestibilidades protéica (entre 11,7 a 26,6%) e de amido (entre 14,4 e 38,07%). Os resultados das análises microbiológicas indicaram que todas as amostras de farinhas de feijão extrusadas e o caldo de feijão instantâneo elaborado apresentaram-se de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação. Estes resultados indicam que é possível produzir farinha de feijão instantânea, com

características de ingrediente no preparo de sopas, caldos, papinhas, entre outros alimentos, com melhor valor nutricional e boas propriedades tecnológicas e bioquímicas.

Palavras-chave: Extrusão. Bandinha de feijão. Fatores antinutricionais. Propriedades tecnológicas e bioquímicas. Produtos instantâneos.

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) assumes great importance in human nutrition. It holds essential components to the diet such as proteins, carbohydrates and minerals. The bean cotyledon is a byproduct of the bean industry; however, its nutritional value is kept. An alternative to the exploitation of bean cotyledon is the use of extrusion in the development of food products. In this context, the objective of this research was to produce extruded flours from the common bean cotyledon (*Phaseolus vulgaris* L.), the Carioca type, in different conditions of temperature and humidity in order to achieve technological and biochemical parameters for their use as instant food ingredient. The grains were crushed to a granulometry between 0.75 and 0.85 mm. The extrusion was carried out in full line of extrusion using extruder model MI - 130 plus, screw rotation speed 414 rpm, single screw and long with 02 compression rates and helical shirt. A model 2² was applied to evaluate the conditions of extrusion. The variables studied were temperature (150, 154, 164, 174 and 178° C) and humidity (12.3, 14, 18, 22 and 23.7%). After extrusion, the products milled to obtain flour were evaluated for chemical composition, rate of water absorption, water solubility, ability to gel formation, viscoamylographic properties, trypsin inhibitor activity, in vitro digestibility of protein and starch and microbiological quality. The results showed no significant difference between treatments related to the composition of the flours, except for the humidity. Regarding technological properties analyzed, there was a decrease of water solubility of 33% in raw flour to 15 to 23% in the extrudates. There was an increase in water absorption (9.1 to 23.9%) and improvement in ability to form gels (9% versus 11% of raw flour). Regarding the parameters of viscosity of extruded flours, the initial viscosity increased with the decrease in humidity and temperature and was observed no peak viscosity. The high values of breakdown viscosity were found in median temperatures and high humidity values. On the other hand, the final viscosity and retrogradation of extruded flours were higher when median temperatures and low humidity were used. The process resulted in complete elimination of the activity of trypsin inhibitors and increase in protein (between 11.7 and 26.6%) and starch (between 14.4 and 38.07%) digestibility. The microbiological analysis showed that all samples of extruded bean flours and instant bean soup prepared were presented in accordance with standards established by the Legislature. These results indicate that it is possible to produce instant bean flour, as an appropriate ingredient of soups preparations, baby food and other foods, with better nutritional value and good technological and biochemical properties.

Keywords: Extrusion. Bean cotyledon. Antinutritional factors. Biochemical and technological properties. Instant products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Fluxograma de beneficiamento do feijão	20
Figura 2.	Desenho esquemático de um extrusor de rosca simples	23
Figura 3.	Esquema básico das etapas do processo de extrusão	25
Figura 4.	Parâmetros avaliados na curva amilográfica	36
Figura 5.	Amostra de bandinhas de feijão	38
Figura 6.	Fluxograma para obtenção de farinha de feijão extrusada	39
Figura 7.	Drajadeira	41
Figura 8.	Extrusora utilizada para a extrusão da farinha de feijão	42
Figura 9.	Extrusado de feijão: (A) Snacks; (B) Farinhas	43
Figura 10.	Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura no índice de expansão dos extrusados de feijão	51
Figura 11.	Índice de expansão presente nos extrusados nas diferentes condições de extrusão. Todos os valores são apresentados como média ($\pm$ desvio padrão) de cinco determinações. Médias acompanhadas pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($p < 0,05$)	52
Figura 12.	Índice de absorção de água (IAA) em função do conteúdo de umidade e temperatura	55
Figura 13.	Solubilidade em água em função do conteúdo de umidade e temperatura	58
Figura 14.	Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a viscosidade inicial (VI) das farinhas de feijão. FC – farinha crua; T 7 - farinha extrusada (18%/150°C)	62
Figura 15.	Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre o pico de viscosidade (PV) das farinhas de feijão. FC – farinha crua; T 5 - farinha extrusada (12,3%/164°C)	64
Figura 16.	Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a quebra de viscosidade (QV) das farinhas de feijão. FC – farinha crua; T 6 - farinha extrusada (23,7%/164°C)	65
Figura 17.	Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a tendência à retrogradação (TR) das farinhas de feijão. FC – farinha crua; T 5 - farinha extrusada (12,3%/164°C)	66
Figura 18.	Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a viscosidade final (VF) das farinhas extrusadas. FC – farinha crua; T 5 - farinha extrusada (12,3%/164°C)	67
Figura 19.	Produtos que possuem farinha de feijão em suas formulações	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Produção mundial de feijão	18
Tabela 2.	Produção mundial de bandinha de feijão	19
Tabela 3.	Valores comerciais dos diferentes tipos de feijão	19
Tabela 4.	Efeitos da extrusão termoplástica	28
Tabela 5.	Trabalhos desenvolvidos envolvendo análise dos efeitos de extrusão sobre diversos alimentos	29
Tabela 6.	Delineamento experimental do processo de extrusão da farinha de feijão	40
Tabela 7.	Ajuste de umidade	41
Tabela 8.	Programa de extrusão, programação <i>Extrusion 1</i>	45
Tabela 9.	Formulação do caldo de feijão instantâneo	47
Tabela 10.	Análises microbiológicas recomendadas pelo Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos (BRASIL, 2001) para farinha de feijão e produtos instantâneos	48
Tabela 11.	Composição centesimal das farinhas de feijão após extrusão (% base seca)	49
Tabela 12.	Análise de variância para Índice de Expansão dos extrusados	51
Tabela 13.	Índices de absorção de água das farinhas de feijão extrusadas	54
Tabela 14.	Análise de variância para Índice de Absorção de água dos extrusados .	54
Tabela 15.	Solubilidade em água das farinhas de feijão extrusadas	57
Tabela 16.	Análise de variância para Solubilidade em água dos extrusados	57
Tabela 17.	Capacidade de formação de gel das farinhas crua e extrusada	59
Tabela 18.	Propriedades de pasta das farinhas crua e extrusadas	60
Tabela 19.	Digestibilidade protéica de farinha de feijão crua e extrusados	69
Tabela 20.	Digestibilidade de amido de farinha de feijão crua e extrusados	71
Tabela 21.	Resultados das análises microbiológicas indicaram que todas as amostras de farinhas de feijão extrusadas e o caldo de feijão instantâneo	72
Tabela 22.	Produtos potenciais para a utilização da farinha pré-gelatinizada de feijão e que possuem farinha de feijão em suas formulações	73

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

b.s.: base seca

HTST: high temperature – short time (alta temperatura – curto tempo)

IAA: índice de absorção de água

IE: índice de expansão

SA: solubilidade em água

UE: unidade de enzima

UI: unidade de inibição

UIT: unidade de inibição de tripsina

VI: viscosidade inicial

PV: pico de viscosidade

QV: quebra de viscosidade

TR: tendência à retrogradação

VF: viscosidade final

TP: temperatura de pasta

PUFAS: ácidos graxos insaturados

TB: temperatura de barril

TCA: ácido tricloroacético

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	CULTURA DO FEIJÃO	16
2.2	BANDINHA DO FEIJÃO	18
2.2.1	Conceito	18
2.2.2	Beneficiamento	18
2.2.3	Benefícios e utilização	21
2.3	EXTRUSÃO	21
2.3.1	O extrusor	22
2.3.2	O processo de extrusão	24
2.3.3	Vantagens e desvantagens da extrusão	25
2.3.4	Parâmetros que influenciam nas características dos produtos extrusados	26
2.3.5	Impacto do processo de extrusão sobre o valor nutricional dos extrusados	27
2.3.6	Aplicações	29
2.4	PREPARADOS INSTANTÂNEOS	30
2.5	PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PRODUTOS INSTANTÂNEOS	32
2.5.1	Índice de absorção de água (IAA) e Solubilidade em água (SA)	32
2.5.2	Capacidade de formação de gel	34
2.5.3	Propriedades viscoamilográficas	35
3	OBJETIVOS	37
3.1	OBJETIVO GERAL	37
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1	MATERIAL	38
4.2	MÉTODOS	38
4.2.1	Preparo das farinhas	39
4.2.2	Delineamento Experimental	40
4.2.3	Determinação da umidade da amostra	41
4.2.4	Ajuste de umidade	41
4.2.5	Processo de extrusão	42
4.2.6	Obtenção da farinha de feijão extrusada	42
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE FEIJÃO E EXTRUSADOS	43
4.3.1	Composição centesimal	43
4.3.2	Índice de expansão	43
4.4	PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	44
4.4.1	Índice de absorção de água (IAA)	44
4.4.2	Solubilidade em água (SA)	44
4.4.3	Capacidade de formação de gel	44
4.4.4	Propriedades viscoamilográficas	45
4.5	CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA	45

4.5.1	Preparo de extrato bruto	45
4.5.2	Inibidor de tripsina	46
4.5.3	Digestibilidade das farinhas	46
4.5.3.1	Digestibilidade protéica <i>in vitro</i>	46
4.5.3.2	Digestibilidade de amido <i>in vitro</i>	47
4.6	ELABORAÇÃO DO CALDO DE FEIJÃO INSTANTÂNEO	47
4.7	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO DESENVOLVIDO	48
4.7.1	Avaliação Microbiológica	48
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS	49
5.2	ÍNDICE DE EXPANSÃO DOS EXTRUSADOS	50
5.3	CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS EXTRUSADAS	53
5.3.1	Índice de absorção de água (IAA)	53
5.3.2	Solubilidade em água (SA)	56
5.3.3	Capacidade de formação de gel	59
5.3.4	Propriedades viscoamilográficas	60
5.3.4.1	Viscosidade inicial (VI) a 25° C	61
5.3.4.2	Pico de viscosidade (PV)	63
5.3.4.3	Quebra de viscosidade (QV)	64
5.3.4.4	Tendência à retrogradação (TR)	65
5.3.4.5	Viscosidade final (VF)	66
5.3.4.6	Temperatura de pasta (TP)	67
5.4	CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA	68
5.4.1	Inibidores de tripsina	68
5.4.2	Digestibilidade protéica <i>in vitro</i>	69
5.4.3	Digestibilidade de amido <i>in vitro</i>	70
5.5	AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA	72
5.6	POTENCIAL DE PRODUTOS PARA A UTILIZAÇÃO DA FARINHA EXTRUSADA	73
6	CONCLUSÕES	75
7	PERSPECTIVAS	76
	REFERÊNCIAS	77
	ANEXO A - Confirmação de submissão do artigo intitulado “ Functional, biochemical and pasting properties of extruded bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>) cotyledons	86
	ANEXO B - Artigo submetido a Food Chemistry	89

1 INTRODUÇÃO

Importante leguminosa na nutrição humana, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é amplamente consumido no México, América Central, América do Sul e países africanos e assume enorme importância na alimentação humana, fundamentalmente devido ao seu baixo custo, e por ser um alimento relativamente balanceado, tendo pronta aceitação nos mais diferentes hábitos alimentares (CÁRDENAS, 2006).

As propriedades nutricionais e funcionais do feijão são semelhantes às bandinhas de feijão, subproduto do beneficiamento, constituído pelos grãos quebrados. Este subproduto é pouco aproveitado no Brasil, mas seu potencial para a indústria alimentícia é alto, podendo ser empregado na elaboração de farinhas para a produção de diversos produtos.

Entretanto, em razão das mudanças nos hábitos alimentares do mundo moderno, o consumo de alimentos prontos, semipronto e de preparo instantâneo aumentou consideravelmente, incentivando sua maior produção. Dentre os processos para obtenção deste tipo de produto a extrusão tem sido usada pelas indústrias de alimentos na tentativa de processar e produzir alimentos com economia e eficiência tanto tecnológica quanto nutricional (WANG, 2002).

O processo de extrusão tem sido considerado como um dos métodos mais populares desenvolvidos pela indústria para a produção de amidos pré-gelatinizados, cereais pré-cozidos, alimentos infantis, cereais matinais, entre outros. Na extrusão o trabalho mecânico é combinado com ação do calor para gelatinizar o amido e desnaturar proteínas, plasticizando e reestruturando o material (NASCIMENTO et al., 2007).

Além de possuir os benefícios usuais de um processo térmico convencional, a extrusão termoplástica oferece a possibilidade de melhorar as propriedades funcionais e diminuir a quantidade de componentes antinutricionais (WANG et al., 2007).

A combinação de temperatura, umidade e força de cisalhamento durante o processo de extrusão causam a desnaturação e agregação das proteínas. O tratamento térmico provoca uma reorganização da estrutura das proteínas, o que pode aumentar a exposição de sítios de ataque proteolítico e melhorar a digestibilidade protéica (RUIZ-RUIZ et al., 2008; ANTON; FULCHER; ARNTFIELD, 2009).

Sendo assim, com adequados parâmetros de produção, pode-se obter uma variedade razoável de produtos, desde altos graus de gelatinização até produtos de grau intermediário de

cozimento, permitindo, portanto, a sua utilização de acordo com as necessidades e ou preferência do consumidor (ASCHERI; CARVALHO, 2006).

Dada a importância socioeconômica do desenvolvimento de produtos de elevado valor agregado, a partir de novas matérias-primas e a agregação de valor a resíduos, bem como a importância tecnológica que o processo de extrusão representa frente aos alimentos de preparo rápido, objetivou-se neste trabalho determinar condições de processamento por extrusão, da farinha de feijão buscando melhores parâmetros tecnológicos e bioquímicos, para a elaboração de farinha instantânea, com características de ingrediente no preparo de sopas, caldos, flan, papinhas, entre outros alimentos para uso na alimentação humana.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A CULTURA DO FEIJÃO

Existem várias espécies de sementes que, maduras, servem como alimento a uma grande parte da população mundial. Algumas destas são produzidas por plantas chamadas leguminosas graníferas das quais cerca de 20 espécies são utilizadas na alimentação em quantidades apreciáveis, numa ou noutra região do mundo. As mais importantes espécies de leguminosas são o guandu, caupi, a ervilha, a lentilha, o grão-de-bico, a fava, o feijão fava, e os feijões asiáticos do gênero *Vigna*, o amendoim, a soja e o feijão comum. Este último, segundo relatos na literatura, já fazia parte da dieta de muitos povos antepassados (PROLLA, 2006). O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta originária do Novo Mundo e cultivada, atualmente, em todos os continentes (CARNEIRO et al., 2005).

O mercado mundial de feijão movimenta, anualmente, mais de dezoito milhões de toneladas. Sendo assim, assume uma enorme importância na alimentação humana, fundamentalmente devido ao seu baixo custo, e por ser um alimento relativamente balanceado, tendo pronta aceitação nos mais diferentes hábitos alimentares (RESENDE; CORRÊA; GONELI; RIBEIRO, 2008).

O Brasil é o segundo maior produtor e consumidor, e o primeiro quando se trata apenas de *Phaseolus vulgaris* (RESENDE; CORRÊA; GONELI; RIBEIRO, 2008). Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o consumo atual de feijão no Brasil é de aproximadamente 16 kg/hab/ano, existindo preferências de cor e tipo de grão. O consumo diário de feijão está entre 50 a 100 g por pessoa, contribuindo com 28% de proteína e 12% de calorias ingeridas (FROTA, 2007).

Em função de suas condições climáticas, o Brasil produz feijão praticamente o ano todo. Os feijões consumidos no Brasil pertencem à classe Dicotyledoneae, família *Fabaceae* (*Leguminosae*), gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris* L. (RIOS; ABREU; CORRÊA, 2003). Vale salientar o grande número de variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), tais como feijão-preto, feijão-mulatinho, feijão-carioquinha, feijão-pardo, feijão-rouxinho, entre outros (CARNEIRO, 2005).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), conhecido por feijão macassar ou feijão-de-corda é uma fonte de renda alternativa e considerado alimento básico da população da Região Nordeste do Brasil. O consumo do mesmo pode ser na forma de grãos maduros e

de grãos verdes, (“feijão-verde” com teor de umidade entre 60 e 70%). É bastante apreciado por seu sabor e cozimento mais fácil, sendo utilizado como “feijão-verde”, em pratos típicos da região Nordeste (OLIVEIRA et al., 2001).

Na alimentação dos brasileiros, tanto nas áreas rurais quanto urbanas, o feijão é a principal fonte de proteínas, seguido, em importância pela carne bovina e arroz. Esses três alimentos básicos contribuem com 70% da ingestão protéica e, nesse sentido, a importância alimentar do feijão deve-se, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal. Portanto, como alimento básico e sob o ponto de vista quantitativo, o feijão é considerado um alimento protéico, embora, seu conteúdo calórico, mineral e vitamínico não possa ser desprezado (MESQUITA et al., 2007).

Na nutrição humana o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), dada sua composição, proporciona vários benefícios à saúde, sendo indicado na dietoterapia de várias doenças tais como, distúrbios cardíacos, diabetes *mellitus*, obesidade e câncer. Os feijões constituem uma boa fonte de fibra alimentar especialmente fibra solúvel. O consumo de alimentos ricos em fibras solúveis tem sido eficaz na redução dos níveis séricos de colesterol total e, conseqüentemente na redução de doenças cardiovasculares da população em geral (CÁRDENAS, 2006).

A qualidade do grão de feijão é um parâmetro de grande importância durante a colheita e armazenamento, estando relacionada com o valor nutricional e a aceitabilidade pelo consumidor. A qualidade nutricional da proteína está relacionada com o perfil de aminoácidos e o grau de digestibilidade, além de ser influenciada pela quantidade e qualidade de outras proteínas consumidas juntamente com as proteínas do feijão (SOARES, 1996).

O perfil de aminoácidos das proteínas de feijão comum é caracterizado por sua deficiência em aminoácidos sulfurados e triptofano, sendo a metionina o aminoácido limitante, ao passo que a lisina é o aminoácido que se encontra em maior proporção. A digestibilidade do feijão cru está em torno de 25 a 60%. Polifenóis, fitatos, inibidores enzimáticos, fitohemaglutininas e fatores de flatulência e cianogênicos são algumas das substâncias antinutricionais e tóxicas presentes no feijão. O tratamento térmico dado com a finalidade de cozinhar os grãos reduz o efeito dessas substâncias, podendo aumentar a digestibilidade protéica para 65 a 85%, dependendo da variedade do feijão e do processo de cozimento usado (DONADEL; FERREIRA, 1999).

2.2 BANDINHA DE FEIJÃO

2.2.1 Conceito

Na industrialização, o feijão passa, a partir do recebimento, por operações de limpeza, classificação e empacotamento. Poucos subprodutos são gerados, destacando-se a bandinha de feijão, que é a abertura física dos cotilédones do grão, a qual possui as mesmas propriedades e composição química do feijão. Entretanto, as indústrias retiram este produto do mercado para manter o padrão de qualidade da marca comercial.

2.2.2 Beneficiamento

Ao chegar à indústria de beneficiamento, o feijão passa por três tipos de avaliação para verificação da qualidade do grão.

1. Avaliação visual: para avaliação da cor.
2. Teor de umidade: para verificação do padrão de empacotamento do produto. O valor permitido para a umidade do feijão é de até 16%. No caso do não atendimento deste padrão, o produto é encaminhado para secagem.
3. Classificação: para classificação em tipo 1, tipo 2, baixo padrão, sobra 1 (bandinha + feijão ponta de bage) e sobra 2 (consumo animal). Para tanto, utilizam-se peneiras de classificação (5 mesh). Os feijões são classificados de acordo com a quantidade retida em cada peneira:

Peneira 12: Feijão tipo 1 (80% retido)

Peneira 11: Feijão tipo 2 (13,6% retido)

Peneira 10: Feijão baixo padrão (0,025 % retido)

Peneira 9: Bandinha + Feijão Tipo Bage (Sobra 1 - 0,025 % retido)

Peneira 8: Feijão utilizado para consumo animal (Sobra 2 - 0,025 % retido)

Para avaliarmos a quantidade de bandinha produzida no mundo e no Brasil, segue abaixo as seguintes Tabelas:

Tabela 1. Produção Mundial de Feijão (FAO, 2010).

Localização	Produção (Toneladas)
Produção Mundial	20.394.893 milhões
Produção Américas	7.477.262 milhões (36%)
Produção América do Sul	4.225.487 milhões (21%)
Produção Brasil	3.460.867 milhões (17%)

Tabela 2. Produção Mundial de Bandinha de Feijão (FAO, 2008).

Localização	Produção (Toneladas)
Produção Mundial	5.098,72
Produção Américas	1.869,32
Produção América do Sul	1.056,37
Produção Brasil	865,22

Para comercialização no mercado onde foi desenvolvido o trabalho (Goiânia-GO) tem-se os seguintes valores:

Tabela 3. Valores comerciais dos diferentes tipos de feijão.

Tipo de feijão	Preço por 60 kg
Feijão tipo 1	R\$ 120,00
Feijão baixo padrão	R\$ 105,00
Bandinha de feijão e ponta de bage	R\$ 30,00

Fonte: Associação Comercial de Goiás (2009)

Após a avaliação de qualidade, o produto é encaminhado para as seguintes etapas:

- Moega: canal de recebimento
- Pré-limpeza: retirada do bagaço, palha e terra
- Cata pedra: retirada das pedras
- Polidor: matéria-prima é polida, com a retirada do pó
- Peneirão: separação, classificação da qualidade do grão, através da granulometria e tamanho dos grãos
- Decimétrica: seleção do feijão ponta de bagé (feijão miúdo) e bandinha de feijão
- Celetron: classificação de cores de feijão. Nesta etapa ocorre a retirada de feijão preto e grãos de milho.
- Empacotadeira: empacotamento de 1 kg do produto. Este produto está pronto para consumo.



Figura 1. Fluxograma de beneficiamento do feijão.

2.2.3 Benefícios e utilização

A bandinha de feijão, subproduto pouco aproveitado no país, mas com potencial para a indústria alimentícia pode ser empregada na produção de farinhas de feijão, sendo utilizadas como ingrediente na elaboração de produtos de conveniência que apresentam propriedades funcionais, tecnológicas e nutricionais próximas da matéria original. Neste caso os produtos obtidos podem ser farinhas mistas ou pré-gelatinizadas para utilização em produtos de panificação, confeitaria, instantâneos, entre outros.

Acreditando no potencial desta matéria-prima, justifica-se eleger esse produto para estudos mais aprofundados em relação aos conteúdos, caracterização e efeitos fisiológicos do amido do feijão, bem como a proteína, a partir de diversos genótipos (cor, tipo e tamanho) cultivados no país. Isto possibilitará recomendar o feijão também como alimento funcional, agregando valor à cultura e trazendo desenvolvimento regional, mas principalmente, resgatando um importante e saudável hábito alimentar da população, atualmente ameaçado pela vida moderna.

2.3 EXTRUSÃO

O processo de extrusão H.T.S.T. (altas temperaturas, tempos curtos) é uma tecnologia que teve origem na indústria de plásticos e muitos dos modelos e teorias foram desenvolvidos com polímeros (EMBRAPA, 2006a).

O uso contínuo de extrusão na alimentação humana iniciou-se em 1940 com a produção de salgadinhos de milho (*snacks*), cereais expandidos e macarrão. Atualmente, o processo de extrusão é empregado na manufatura de vários salgadinhos, massas, proteínas vegetais texturizadas, alimentos prontos e semiprontos, cereais matinais e derivados. Além disso, o processo de extrusão é amplamente utilizado para processar, misturar, melhorar funcionalmente, desintoxicar, esterilizar e texturizar uma variedade de produtos e ingredientes alimentares (GUJRAL; SINGH; SINGH, 2001). Em virtude da sua versatilidade operacional e suas múltiplas funções, pode ser aplicado na produção de alimentos para o consumo humano ou para o consumo animal (CARREIRO et al., 2008). Na área de alimentos para consumo humano, a diversidade de produtos envolve as áreas de panificação (pão chato “flat bread”, biscoitos, pastas alimentícias, crackers, wafers, etc.); cereais matinais e “snacks” prontos para o consumo, produtos de confeitaria e de macarrão; texturizados (proteína de soja texturizada, análogos de carne, ingredientes para sopas e bebidas, cereais fortificados, entre outros);

produção de alimentos instantâneos, processamento de proteínas de oleaginosas e de leguminosas e ingredientes para outros produtos (CARREIRO et al., 2008).

A extrusão termoplástica de alimentos é definida como o processo contínuo no qual o cisalhamento mecânico é combinado com calor para gelatinizar amido e desnaturar materiais protéicos, como consequência eles são plastificados e reestruturados para obtenção de produtos com novas texturas e formas. As funções do extrusor de alimentos incluem, além da gelatinização/cozimento, quebra molecular, mistura, esterilização, dar forma e inflamento/secagem (WANG, 2006).

Seu princípio básico é converter um material sólido em massa fluída pela combinação de umidade, calor, compressão e tensão de cisalhamento, e forçar sua passagem através de uma matriz para formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas, obtendo-se, assim, a gelatinização do amido e/ou a desnaturação da proteína presente no alimento (CARREIRO et al., 2008).

2.3.1 O extrusor

O extrusor consiste de um parafuso de Arquimedes que gira dentro de um cilindro estacionário. As condições de alta temperatura, pressão e de forças de cisalhamento, termina por dar forma ao material quando este é forçado a passar através de um molde (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

Segundo Gutkoski (2000) o extrusor é constituído basicamente pelo silo de alimentação, parafuso ou rosca, cilindro encamisado, matriz e mecanismo de corte. Na **Figura 2** está representado de forma esquemática um extrusor de rosca simples.

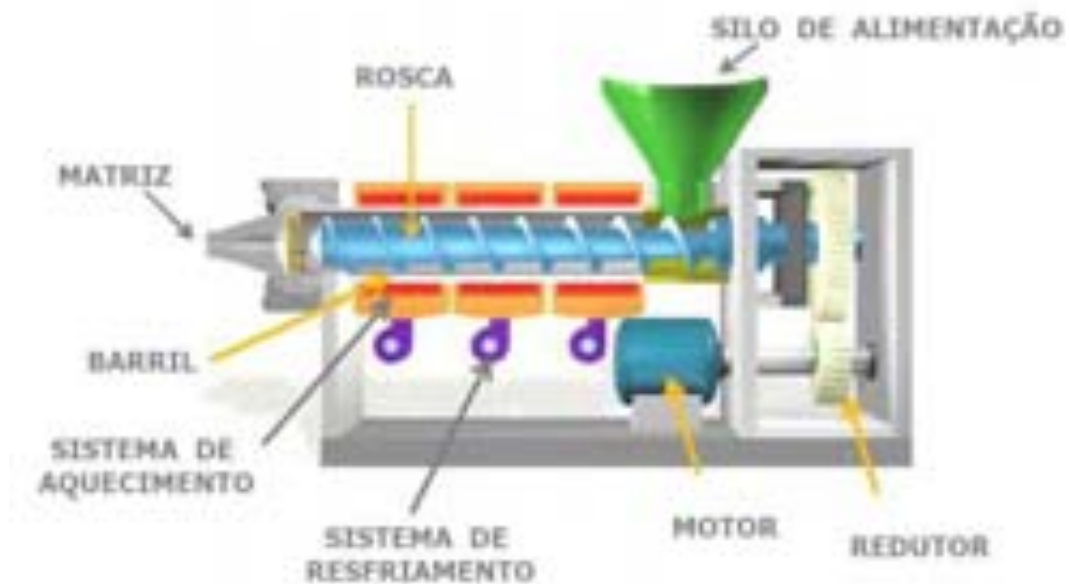


Figura 2. Desenho esquemático de um extrusor de rosca simples.

O silo de alimentação é composto de um recipiente para receber o material a ser extrusado e de um parafuso ou vibrador, localizado vertical ou horizontalmente. Tem a função de manter a alimentação constante e ininterrupta, o que é essencial para o funcionamento do extrusor, bem como para a homogeneidade e a qualidade do produto (GUTKOSKI, 2000).

O parafuso ou rosca, considerado a parte mais importante do extrusor, ajuda a regular o grau de cozimento, a gelatinização e a qualidade final do produto. Este mistura continuamente o material e o conduz pelo cilindro, gerando fricção mecânica e calor, que ajudam a fundir o produto (GUTKOSKI, 2000).

O cilindro encamisado envolve o parafuso e é dividido em seções para permitir a circulação de vapor, óleo, água ou ar, itens que colaboram para o ajuste perfeito de temperatura entre as várias zonas do extrusor (GUTKOSKI, 2000).

A matriz apresenta configurações variadas e, além de moldar o produto na forma desejada, funciona como um restritor de fluxo, mantendo a pressão na zona de cocção (GUTKOSKI, 2000).

O mecanismo de corte está acoplado à porção final do extrusor, sendo constituído por lâminas horizontais ou verticais que, de acordo com a velocidade de giro, determinam o comprimento do produto. Uma maior velocidade vai originar produtos mais curtos e vice-versa. O mecanismo deve prover corte do produto em comprimento uniforme e com superfícies perfeitas (GUTKOSKI, 2000).

Os extrusores são classificados, de acordo com o método de operação de extrusores a frio ou extrusores de cocção. Na extrusão a frio, o extrusor tem um parafuso que opera a baixa velocidade em um cano liso, para amassar e extrusar o material com pequena fricção e temperaturas abaixo de 100°C. Este é usado para produzir pastas, massas de bolo, alcaçuz, pasta de peixe, ração animal e alguns tipos de doces (FELLOWS, 2002).

Se o alimento for aquecido acima de 100°C, o processo é conhecido como cocção por extrusão (ou extrusão à quente). Neste caso, o calor é proporcionado pela fricção ou pela adição de calor, aumentando a temperatura rapidamente. A cocção por extrusão sob alta pressão e temperatura em curto período de tempo (HTST) é usada para formar produtos expandidos. Sendo usada para se obter produtos gelatinizados, mastigáveis, como gomas de frutas e alcaçuz (DING, 2005).

Em extrusores que apresentam uma única temperatura de aquecimento, o desenho do parafuso e o comprimento do barril irão determinar a intensidade das alterações provocadas no material extrusado. Em extrusores com diferentes zonas de aquecimento, a temperatura em cada zona, associada às configurações do barril e parafuso determinam as modificações que o material sofrerá durante o processo (DING, 2005).

Os extrusores podem apresentar uma ou duas roscas, sendo que cada tipo possui uma gama específica de aplicações. O extrusor de rosca única tem vantagens em termos de custo, operação e manutenção quando comparado com um de dupla rosca. Entretanto, apresenta limite com materiais com mais de 4% de lipídios, 10% de açúcar e 30% de umidade (REIFSTECK; JEON, 2000).

2.3.2 Processo de extrusão

O princípio básico da extrusão é converter o material sólido, pela aplicação de calor, em fluido, pelo trabalho mecânico e extrusá-lo através de uma matriz. (SEBIO, 1996).

O processo promove a gelatinização do amido, a desnaturação e re-orientação das proteínas, a inativação enzimática, a destruição das substâncias tóxicas tais como os inibidores de proteases e a diminuição da contagem microbiana para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas (BORBA, 2005).

Além disso, proporciona a hidratação dos amidos e proteínas, homogeneização, cisalhamento, fundimento de gorduras, plastificação e expansão da estrutura alimentar (FELLOWS, 2002).

A transformação do material durante o processo de extrusão ocorre em três etapas:

- Versatilidade – uma grande variedade de produtos pode ser fabricada a partir de um mesmo sistema básico de extrusão;
- Alta produtividade – um extrusor fornece uma enorme capacidade de produção quando comparado a outros sistemas de cozimento/moldagem;
- Baixo custo – as demandas de espaço físico e mão-de-obra por unidade de produção são menores que aquelas de outros sistemas de cozimento/moldagem;
- Formato dos produtos – extrusores podem produzir formatos não facilmente obtidos quando se utilizam outros métodos de produção;
- Alta qualidade dos produtos – o processamento em altas temperaturas por período curto de tempo (HTST) minimiza a degradação de nutrientes enquanto destrói a maioria dos microrganismos ou outras pragas;
- Fabricação de novos produtos – extrusores podem modificar as proteínas vegetais, amidos e outras matérias-primas a fim de se obter novos produtos;
- Não gera resíduo – não é produzido nenhum efluente ou material de risco durante ou após o processamento.

Apesar das muitas vantagens do processo de extrusão, o seu controle é complicado devido à natureza complexa dos alimentos e às inúmeras variáveis envolvidas. Sendo que temperaturas podem promover o escurecimento do produto pela reação de Maillard e redução na qualidade das proteínas (EMBRAPA, 2006a).

As variáveis do processo de extrusão que controlam diretamente os atributos de qualidade do produto são chamadas variáveis independentes ou fatores, já as variáveis dependentes ou respostas, mudam como consequência das variáveis independentes. Portanto, certas características do produto final podem ser controladas por uma escolha adequada dos parâmetros de extrusão (EMBRAPA, 2006a).

2.3.4 Parâmetros que influenciam nas características dos produtos extrusados

Alguns fatores e parâmetros influenciam a natureza tecnológica do produto extrusado. Os principais fatores são a condição de processamento e as propriedades de viscosidade e fluidez da matéria-prima (LEONEL et al., 2006).

As condições de processamento mais importantes durante a extrusão são: temperatura, pressão, diâmetro do orifício de saída e taxa de cisalhamento. Além disso, também são consideradas a velocidade de rotação do parafuso, a configuração da rosca, o diâmetro da matriz e a adição de emulsificantes (CARREIRO et al., 2008).

As características do alimento que exercem influências sobre textura e cor do extrusado são: umidade inicial (conteúdo em água e atividade de água), o estado físico dos componentes e sua composição química (principalmente tipo de amido, proteínas, gorduras e açúcares) (CARREIRO et al., 2008).

Os componentes dos alimentos são muito importantes para a qualidade tecnológica dos produtos extrusados. As proteínas são importantes para a elasticidade, retenção de gás e estrutura celular, adesividade, extensibilidade, absorção de água, ligação e mesmo expansão. Os amidos são importantes principalmente para adesão, coesão e expansão. Os lipídios são críticos para densidade volumétrica e expansão. A fibra é usada para controle da densidade e da textura em adição ao seu especial valor nutritivo (SHUKLA, 1998).

Algumas das propriedades físicas, físico-químicas e funcionais do amido envolvidas na extrusão são: textura, gelatinização, viscosidade, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, expansão e cor (BORBA, 2005).

A temperatura de extrusão e a umidade da matéria-prima são as mais importantes variáveis do processo que afetam as características do produto (EMBRAPA, 2006a).

Sempre quando se pensa em característica de produto extrusado, faz-se a associação com o grau de expansão, de gelatinização do amido e da texturização da fração protéica deste produto. Essas características estão intimamente relacionadas à textura, densidade aparente e transformações estruturais (LEONEL, 2005).

2.3.5 Impacto do processo de extrusão sobre o valor nutricional dos extrusados

A extrusão provoca a reorganização das estruturas existentes na matéria-prima por meio do rompimento de várias interações entre as macromoléculas presentes e conseqüente reestruturação do material na direção do fluxo. Há também um rompimento de ligações covalentes e hidrólise do material, obtendo produto de textura melhorada, para consumo direto como alimento (CARREIRO et al., 2008).

A influência da extrusão na composição química e na qualidade nutricional de alimentos pode ter efeitos positivos e negativos. Revisões sobre as mudanças químicas que afetam a nutrição durante a extrusão foram publicadas por Cheftel (1986), Camire et al. (1990). Na Tabela 4 resumem-se estas mudanças (EMBRAPA, 2006b):

Tabela 4. Efeitos da extrusão termoplástica.

EFEITO	POSITIVO	NEGATIVO
Carboidratos	Modificação do amido Aumento da digestibilidade Desenvolvimento de "flavours"	Reação de "Maillard" (não enzimático) Hidrólise
Proteínas	Aumento da digestibilidade Desnaturação	Modificação química de aminoácidos Reação de "Maillard", ligações cruzadas Formação de lisinoalanina
Lipídios	Aumento da digestibilidade Formação de complexo lipídio-amido	Aumento da rancidez Destruição de "PUFAS"
Fibras	Aumento da digestibilidade Decréscimo de volume Destruição de fitatos	Aumento da digestibilidade Decréscimo de volume
Vitaminas	_____	Destruição
Minerais	Aumento geral da biodisponibilidade Ferro – redução do Fe^{+3} para Fe^{+2} Zinco, Magnésio, Cobre e Fósforo	Redução da biodisponibilidade pela presença do fitato e inativação da fitase pela extrusão
Microorganismos	Destruição	
Enzimas	Inativação de lipase, peroxidase, lipoxigenase, mirosinase, uréase	Inativação de amilase fitase
Fatores antinutricionais	Inativação de inibidores de tripsina, amilase e lectinas Redução, remoção ou destruição taninos e fitato	
Componentes tóxicos	Inativação de glicosinolato, gossipol, glicoalcalóides, aflatoxina	
"Flavours"	Redução de "flavours" indesejáveis	Perda de "flavours" desejáveis

2.3.6 Aplicações

Vários estudos têm sido realizados com a finalidade de aprofundar o conhecimento sobre os efeitos do processo de extrusão nos alimentos (Tabela 5).

Tabela 5. Trabalhos desenvolvidos envolvendo análise dos efeitos de extrusão sobre diversos alimentos.

Autor(es)	Resumo do trabalho
CARDOSO FILHO, 1993	Concluiu que a farinha de feijão extrusada pode ser usada para fabricação de alimentos expandidos, alimentos que serão aquecidos durante o seu preparo (tais como, sopas) e pode servir também para balancear nutricionalmente alimentos ou dietas, principalmente quanto ao teor protéico.
WANG et al., 2002	Concluiu que os mingaus elaborados a base de farinhas extrusadas de canjiquinha-soja (80:20) submetidas, respectivamente, a TB em 60-90-130-130°C e 60-90-130-150°C apresentaram melhores propriedades sensoriais (aparência, consistência e sabor), sendo igualmente preferidas pelos consumidores.
AUGUSTO RUIZ et al., 2003	Demonstraram que a farinha pré-gelatinizada de arroz pode ser utilizada na alimentação humana na sua forma direta ou como ingrediente para produtos formulados instantâneos e geleificados.
ASCHERI; CARVALHO, 2006	Indicam o uso de fubá na produção de farinhas pré-gelatinizadas, através de adequados parâmetros de produção. Segundo o autor pode-se obter uma variedade razoável de produtos, desde altos graus de gelatinização até produtos de grau intermediário de cozimento, permitindo, portanto, a sua utilização de acordo com as preferências do consumidor.
NASCIMENTO et al., 2007	A sopa cremosa preparada com a farinha mista de trigo e soja, com 26% de umidade extrusada a 180 rpm e 120°C, apresentou a melhor textura, sendo a mais preferida pela equipe massal de provadores não treinados.
MENEGASSI et al., 2007	Verificaram que as condições de 17% de umidade, 120°C de temperatura e 204 rpm de rotação da rosca indicariam um possível uso de farinha extrusada de mandioquinha-salsa como produto instantâneo.
SILVA et al, 2008	A produção de macarrões pré-cozidos por extrusão com condições diferenciadas de temperatura, umidade de processamento e misturas de farinhas de arroz integral e milho geram macarrões com diferentes graus de cozimento e texturas.
SILVA; ASCHERI, 2009	Determinaram as melhores condições de extrusão da farinha de quirera de arroz, a fim de elaborar farinha instantânea que pôde ser utilizada como ingrediente no preparo de sopas, tortas, entre outros alimentos para uso na alimentação humana.

LUSTOSA et al., 2009	Encontraram que as condições de elevada rotação e temperatura de extrusão, juntamente com a baixa umidade da farinha, proporcionam a obtenção de farinhas instantâneas de mandioca ,com as propriedades térmicas e de pasta desejadas para este tipo de produto.
BATISTA; PRUDÊNCIO; FERNANDES, 2010a	Demonstraram que a cocção por extrusão melhora as características bioquímicas (redução e/ou eliminação de antinutricionais) e tecnológicas de feijão caupi endurecido, além de melhorar a digestibilidade de amido e proteínas.
BATISTA; PRUDÊNCIO; FERNANDES, 2010b	Demonstraram que a cocção por extrusão melhora as propriedades funcionais e tecnológicas de feijão comum endurecido, bem como redução de fatores antinutricionais e melhora na digestibilidade de amido e proteínas.

2.4 PREPARADOS INSTANTÂNEOS

Com os avanços e as mudanças do mundo moderno, os consumidores tendem a buscar a facilidade no preparo de alimentos, gerando na indústria a necessidade de uma crescente produção de alimentos prontos, semiprontos e instantâneos (WANG et al., 2006).

Alimentos instantâneos podem ser definidos como alimentos industrialmente produzidos com a finalidade de redução no cozimento e tempo de preparação, visando uma culinária mais rápida e moderna. Além disso, devem possuir características nutricionais e sensoriais satisfatórias, a fim de promover sua inclusão em uma dieta saudável (WANG et al., 2002).

Na forma nativa os amidos são perfeitamente adaptados aos produtos feitos na hora, preparados sem muita preocupação com conservação. Entretanto, suportam mal as imposições tecnológicas de determinados processos industriais que incluem exposição a amplas faixas de temperaturas, pH e cisalhamento, além de algumas propriedades indesejáveis, tais como: pouca absorção e insolubilidade em água fria, instabilidade frente a ciclos de congelamento e descongelamento e tendência a retrogradação. Porém, estas desvantagens podem ser compensadas por meio de modificações químicas como, a fosfatação do amido ou físicas, como a extrusão termoplástica que podem resultar no aumento do poder de inchamento, absorção e solubilização, bem como, reduzir o processo de retrogradação durante o período de resfriamento (SILVA; ASCHERI, 2009).

As principais técnicas de modificação física utilizadas para modificar o amido nativo são a pré-gelatinização e o tratamento térmico (FRANCO et al., 2001).

O amido é modificado para incrementar ou inibir suas características originais e adequá-lo as aplicações específicas, tais como promover espessamento, melhorar retenção, aumentar estabilidade, melhorar sensação ao paladar e brilho, gelificar, dispersar ou conferir opacidade. Assim, os fabricantes de amidos usam vários métodos químicos e físicos para efetuar a modificação dos amidos (BORBA, 2005).

Tanto os amidos modificados quanto os nativos podem ser pré-gelatinizados e o amido final obtido apresentará as mesmas características técnicas e reológicas que os amidos utilizados no processo de gelatinização. As principais aplicações para este tipo de amido são as sobremesas e sopas instantâneas, *snacks* extrusados (AUGUSTO-RUIZ et al., 2003).

O amido tratado pelo processo de extrusão, pode sofrer transformações químicas que causam entumescimento e ruptura dos grânulos, modificação da estrutura cristalina provocando solubilidade e viscosidade em água fria. Estas alterações estão diretamente relacionadas com o maior ou menor grau de gelatinização e dextrinização do amido, interferindo em suas propriedades físicas (CARDOSO FILHO, 1993).

Um amido instantâneo finamente moído dá ao produto acabado uma textura mais untuosa que se fosse moído grosseiramente, porém pode formar grumos se não for disperso corretamente. Por outro lado, se for moído mais grosseiramente não terá tendência a formar grumos, mas propiciará uma textura mais polposa, indesejada em muitos produtos (BORBA, 2005).

Os amidos pré-gelatinizados são usados quando se espera que os produtos sejam solúveis ou dispersíveis em água fria ou quente sem aquecimento. São bastante empregados na confecção de alimentos pré-preparados, são de cocção rápida e fácil digestão. Apresentam-se parcialmente ou totalmente solúveis em água fria e quente (AUGUSTO-RUIZ et al., 2003). Sendo usado no preparo de muitos alimentos instantâneos, pois é mais miscível em água ou leite do que os amidos nativos. Geralmente é preparado por aquecimento com agitação contínua em um mínimo de água, suficiente para garantir a gelificação do amido (NABESHIMA, 2007).

O uso de amido pré-gelatinizado na alimentação se faz em produtos de panificação e confeitaria, em sopas, cremes, sobremesas instantâneas, produção de massas e condimentos. Nestes produtos são utilizados como espessantes e estabilizantes em sopas instantâneas e em caldo de carne desidratado e outros molhos prontos (NABESHIMA, 2007).

Seguem abaixo exemplos do uso de amido pré-gelatinizado pela indústria de alimentos (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998):

- **Pudins e sobremesas:** Para as sobremesas e os pudins instantâneos, derivados de mandioca estão entre os mais utilizados por não apresentarem o gosto típico dos amidos de cereais.
- **Produtos de panificação:** Amidos com ligações cruzadas, estabilizadas ou não, são usados como espessantes em recheios de tortas, cremes para recheios ou coberturas, frutas usadas em recheios, etc.
- **Macarrões instantâneos:** Além de amidos nativos as formulações de macarrões instantâneos podem incorporar amidos pré-gelatinizados.
- **Balas e caramelos:** O amido fornece a textura e controla o tempo de preparo das balas gelatinosas. O amido de mandioca está entre os amidos geralmente utilizados por conter alto teor de amilose, que contribui para reduzir o tempo de preparo e aumentar a firmeza da bala. Amidos de baixa viscosidade, como os obtidos da raiz de mandioca funcionam como agentes ligantes em gomas de mascar. A indústria de balas usa grande quantidade de amidos ácido-modificados na produção de sobremesas de gelatina.
- **Sopas e conservas:** Amidos pré-gelatinizados são utilizados como espessantes em sopas instantâneas.
- **Molhos:** Amidos pré-gelatinizados são usados em caldo de carne desidratado e outros molhos prontos. As indústrias alimentares também utilizam amidos pré-gelatinizados na produção de massas, condimentos.

2.5 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PRODUTOS INSTANTÂNEOS

Para que determinado ingrediente tenha aplicação alimentar, propriedades como hidratação, absorção de água e solubilidade, capacidade de formação de gel, assim como, suas propriedades viscoamilográficas são associadas ao valor nutricional, características importantes a serem avaliadas. Porém, a utilização de farinha de feijão, como ingrediente alimentar, necessita de investigações quanto às suas propriedades tecnológicas, que afetam diretamente em sua utilização.

2.5.1 Índice de absorção de água (IAA) e Solubilidade em água (SA)

Solubilidade é a medida da capacidade de uma determinada substância dissolver-se num líquido e, é influenciada pela quantidade de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos presentes

na superfície das moléculas a serem solubilizadas, das interações entre as moléculas e entre as moléculas e a água (BATISTA; PRUDÊNCIO; FERNANDES, 2010a).

No caso da farinha de feijão, composta principalmente por carboidratos e proteínas, a solubilidade é um parâmetro que reflete o equilíbrio entre as interações proteína-proteína e proteína-água, proteína-biomoléculas, e as interações entre moléculas de carboidrato com a água, entre si, e com os demais componentes do alimento (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008; CROCHET et al., 2005).

A capacidade de absorção de água representa a quantidade de água ligada às moléculas que constituem o alimento, relacionada com a quantidade de água que permanece nas proteínas e carboidratos após exposição a um excesso de água e aplicação de uma força de centrifugação ou pressão (SGARBIERI, 1996).

A solubilidade e absorção de água dependem do número de cargas e grupos hidrofílicos presentes nas moléculas de proteína e carboidratos, pois, quanto maior o número de grupos polares, mais solúveis e capazes de reter água são estes compostos (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008; KINSELLA, 1976). Portanto, as características dos carboidratos e proteínas presentes no feijão irão determinar a solubilidade e capacidade de absorção de água da farinha (WANG et al., 2006).

Durante o processo de extrusão, as proteínas do feijão são desnaturadas pela combinação de alta temperatura e força mecânica no interior do barril. Essa desnaturação pode ocasionar um desequilíbrio hidrofóbico/hidrofílico na superfície da molécula, provocando alterações conformacionais que alteram sua solubilidade (ALONSO; AGUIRRE.; MARZO, 2000; HERNÁNDEZ-DIAS et al., 2007). Além disso, as condições de extrusão podem ocasionar gelatinização ou hidrólise da molécula de amido, que pode apresentar modificação na capacidade de interagir com as moléculas de água, o que interfere na solubilidade (FILLI; NKAMA, 2007; ALTAN; McCARTHY; MASKAN, 2009).

As principais propriedades funcionais do amido extrusado e disperso em água são a absorção e a solubilidade. Como é conhecido, o amido nativo não absorve água a temperatura ambiente sendo sua viscosidade praticamente nula. Entretanto, o amido extrusado absorve água rapidamente formando uma pasta a temperatura ambiente, a qual é formada por macromoléculas solubilizadas e também inclui partículas intumescidas por água (gel) (BORBA, 2005).

2.5.2 Capacidade de formação de gel

A gelatinização é o processo de transformação do amido granular em pasta viscoelástica. Durante o aquecimento de dispersões de amido em presença de excesso de água, inicialmente ocorre o inchamento de seus grânulos, com destruição da ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades. A temperatura na qual ocorre este tipo de transformação é chamada de temperatura de gelatinização (SOUZA; ANDRADE, 2000).

A faixa de temperatura de gelatinização do amido é uma característica do genótipo da planta na qual o amido é sintetizado e é afetada pelas condições do meio, especialmente a temperatura durante o desenvolvimento do grânulo (FRANCO et al., 2001).

A gelatinização do amido e gelificação das proteínas durante o aquecimento e a gelificação do amido durante o resfriamento são responsáveis pela qualidade e características típicas de muitos alimentos (FRANCO et al., 2001).

Segundo Franco et al. (2001) o aquecimento de suspensões de amido em excesso de água (maior que 60%) causa a gelatinização, que é uma transição irreversível. Com o aumento progressivo da temperatura, há rompimento dos grânulos, que se transformam em substâncias gelatinosas, um tanto opalescentes às quais se dá o nome de goma ou pasta de amido (SOUZA; ANDRADE, 2000). Com isto, ocorrem alterações estruturais significativas no amido, destruindo as cadeias de polímeros e permitindo sua liberação (GOMEZ; AGUILERA, 1983). Esta alteração depende essencialmente de três fatores principais, a temperatura, a umidade da mistura e a origem botânica do amido (COLONNA et al., 1987).

Em alimentos, amidos gelatinizados podem ser usados sempre que o espessamento for desejado. A gelatinização do amido também afeta significativamente as características e qualidade dos alimentos como volume dos pães, a elasticidade e maciez dos produtos de pasta, a digestibilidade e a palatabilidade, a tolerância das propriedades da massa em bolos e sonhos, o volume, a meia-vida e a estabilidade ao congelamento de pães e bolos (CHIANG; JOHNSON, 1977).

Os géis protéicos são compostos de uma matriz tridimensional, de redes cruzadas e de associação entre as cadeias polipeptídicas que ocorrem de maneira ordenada e são capazes de imobilizar uma grande parte de água. Segundo Coffmann e Garcia (1977), a formação do gel protéico requer o aquecimento da proteína e o processo de gelificação ocorre em duas etapas:

- Desnaturação da proteína nativa com desenovelamento da cadeia polipeptídica e formação de interações intramoleculares, originando o progel;
- Associação de moléculas desnaturadas formando uma matriz de gel capaz de reter água, lipídios, açúcar e outras substâncias.

A rede formada nos géis protéicos é resultante de um equilíbrio entre interações proteína-proteína e proteína-solvente e as forças repulsivas e de atração entre as moléculas, sendo que, a concentração de proteínas na dispersão é um dos fatores mais importantes que determinam as características finais dos géis. A maioria das proteínas apresenta uma concentração mínima para que ocorra o processo de gelificação (COFFMANN; GARCIA, 1977).

Portanto, a capacidade de formação de gel das farinhas de feijão depende do somatório das propriedades de gel de amido e proteínas, além das interações repulsivas e atrativas existentes entre as moléculas protéicas e as moléculas de amilose e amilopectina.

2.5.3 Propriedades viscoamilográficas

As propriedades de pasta são propriedades funcionais de suma importância para massas alimentícias e nas formulações de alimentos como mingaus, molhos, sopas, e outras (NASCIMENTO et al., 2007).

Os amidos pré-gelatinizados são úteis numa variedade de produtos prontos para uso, devido a sua viscosidade relativamente alta numa concentração baixa em produtos alimentícios que não são aquecidos (NASCIMENTO et al., 2007).

O parâmetro viscosidade de pasta permite determinar e estudar o grau de cozimento do material extrusado e avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo (SILVA et al., 2008).

As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e retrogradação são os principais determinantes do comportamento de pasta desses amidos. Estas alterações são medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido utilizando equipamentos como viscoamilógrafo de Brabender e, mais recentemente, o Rápido Visco Analisador (RVA) (OLIVEIRA FILHO; MANCINI, 2007).

A viscosidade de pasta do amido, avaliada em viscoamilógrafo, parece ser determinada por dois fatores: o grau de inchamento dos grânulos e a resistência desses grânulos à dissolução pelo calor ou a fragmentação pela agitação mecânica (FRANCO et al., 2001).

A viscosidade inicial das farinhas cruas é praticamente nula. Ao realizar tratamento térmico por extrusão, o amido gelatiniza, absorve água a frio e, quanto maior o grau de gelatinização, maior será a capacidade de formar uma pasta, gel ou líquido viscoso à temperatura ambiente (EL-DASH et al., 1983). O valor da viscosidade inicial se eleva com a

prévia gelatinização da amostra e decresce quando os grânulos de amido se rompem e são despolimerizados durante a cocção (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

O pico de viscosidade após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico. Durante o ciclo de aquecimento até 95°C, ocorre o intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, atingindo o pico máximo nesta etapa. No processo de extrusão, dependendo das condições, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido, de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma apresenta ausência de pico e valores muito baixos de viscosidade. Porém, se os tratamentos não são tão severos, determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea. Nessa condição, observam-se valores relativamente altos de viscosidade de pasta durante o aquecimento, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento (CARVALHO et al., 2002).

A viscosidade final é a medida da retrogradação do amido que, em produtos extrusados, vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo e das moléculas (EL-DASH, 1983). O fenômeno retrogradação é, basicamente, uma recristalização decorrente do agrupamento das moléculas de amilose e amilopectina do amido por meio da formação de novas pontes de hidrogênio, resultando em precipitados e géis pouco solúveis. O efeito dessa retrogradação implica no aumento da viscosidade da pasta a 50°C (CARVALHO et al., 2002).

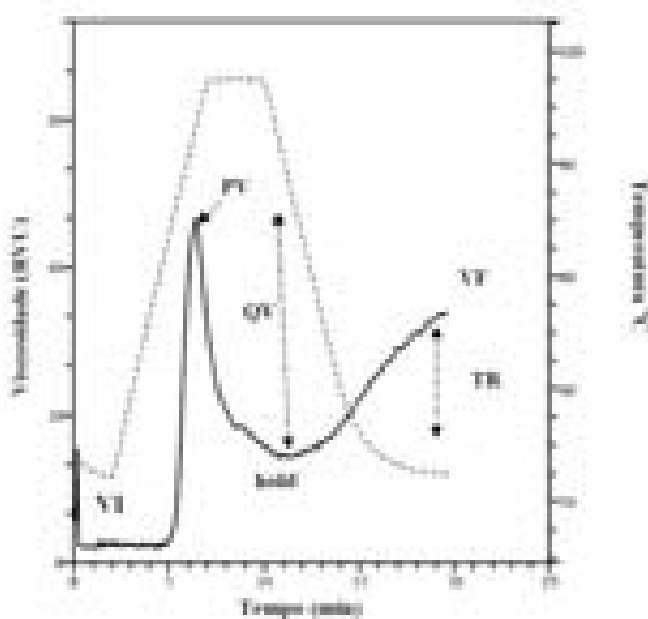


Figura 4. Parâmetros avaliados na curva amilográfica.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Determinar as condições de extrusão de farinha de feijão, de modo a atingir parâmetros tecnológicos e bioquímicos para sua utilização como ingrediente para alimentos instantâneos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito das diferentes condições de extrusão sobre:
 - Composição centesimal das farinhas extrusadas;
 - Índice de Absorção e Solubilidade em água;
 - Capacidade de formação de gel;
 - Propriedades viscoamilográficas;
 - Inibidores de tripsina;
 - Digestibilidade *in vitro* de proteína e amido;
- Formular alimento instantâneo;
- Avaliar a qualidade microbiológica das farinhas e produto obtido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Foram utilizadas bandinhas de feijões comuns (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo comercial carioca, conforme **Figura 5**, fornecidas de uma indústria de beneficiamento da cidade de Goiânia (Goiás).



Figura 5. Amostra de bandinhas de feijão.

4.2 MÉTODOS

O preparo da farinha das bandinhas de feijão foi feito segundo etapas do fluxograma a seguir (**Figura 6**).

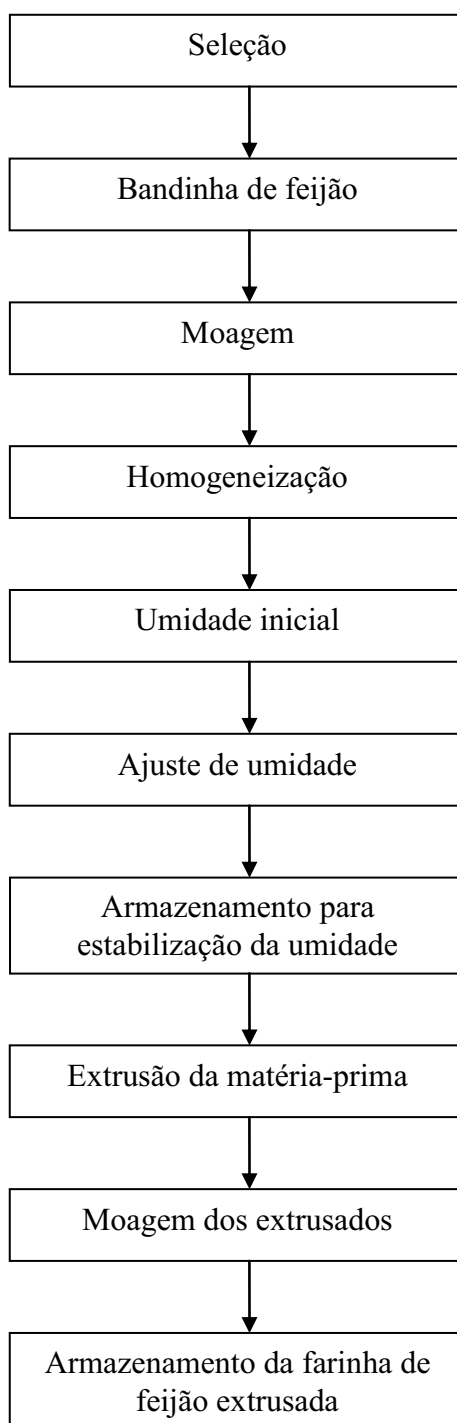


Figura 6. Fluxograma para obtenção de farinha de feijão extrusada.

4.2.1 Preparo das farinhas

Durante a seleção dos grãos efetuada na indústria, foram separados os feijões tipo 1 e feijão de baixo padrão, restando ao final, bandinhas. Primeiramente estas bandinhas foram conduzidas a testes de trituração, para se determinar a granulometria adequada para que a farinha final pudesse ser extrusada. Foram testadas granulometrias que variaram entre 0,42

mm até 0,95 mm, ficando esta definida entre 0,75 e 0,85 mm. Para o preparo da farinha uma quantidade de 110 kg de bandinha de feijão foi triturada em moinho tipo centrífuga (modelo DXF 5-6) a uma rotação 3500 rpm.

A farinha foi dividida em 11 alíquotas de 10 kg cada. A matéria-prima foi homogeneizada e armazenada em sacos de polietileno em temperatura ambiente em local fresco e arejado até ajuste de umidade.

4.2.2 Delineamento Experimental

Para analisar o efeito combinado das variáveis independentes nas características dos extrusados, optou-se pela metodologia de superfície de resposta com delineamento experimental do tipo estrela. Os parâmetros do processo estabelecidos como variáveis independentes foram estudados em três níveis codificados como -1, 0 e +1.

O experimento foi conduzido num delineamento fatorial 2^2 , com dois fatores ou variáveis independentes (temperatura e umidade) e três níveis.

O delineamento experimental empregado no processo de extrusão da farinha de feijão, incluindo os valores das variáveis independentes é apresentado na Tabela 6. Estes parâmetros foram escolhidos com base em dados da literatura e estudos preliminares realizados.

Tabela 6. Delineamento experimental do processo de extrusão da farinha de feijão.

Tratamentos	Variáveis Codificadas		Valores Reais	
	(X1)	(X2)	(X1)	(X2)
	Umidade	Temperatura	Umidade	Temperatura
	(%)	°C	(%)	°C
1	-1	-1	14	154
2	-1	1	14	174
3	1	-1	22	154
4	1	1	22	174
5	-1,414	0	12,3	164
6	1,414	0	23,7	164
7	0	-1,414	18	150
8	0	1,414	18	178
9	0	0	18	164
10	0	0	18	164
11	0	0	18	164

4.2.3 Determinação da umidade da amostra

Foi determinada a umidade inicial da matéria-prima para ajuste do conteúdo de água a ser adicionado em cada uma das amostras. Foi utilizada metodologia de secagem em estufa 105°C (AOAC, 2000).

4.2.4 Ajuste de Umidade

Foram realizados os cálculos para acréscimo correto de água em cada ponto, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7. Ajuste de umidade.

Umidade	Quantidade de água a ser adicionada à farinha
13%	609 mL
14%	732 mL
18%	1256 mL
22%	1835 mL
24%	2145 mL

Cada amostra foi colocada em equipamento denominado drajadeira (**Figura 7**) para homogeneização do material umidecido.



Figura 7. Drajadeira.

A umidificação foi realizada com água destilada acrescentada sobre a farinha que se encontrava em contínuo revolvimento, para não ocorrer à formação de grumos. O material

passou pelo processo de mistura por 5 minutos, após ter sido acrescentada toda a água. Após o ajuste de umidade as amostras foram armazenadas a temperatura ambiente por 24h, para estabilização das umidades. As umidades foram conferidas por meio da metodologia de secagem em estufa (AOAC, 2000). O material preparado foi acondicionado em embalagens plásticas de polietileno para posterior extrusão.

4.2.5 Processo de extrusão

A extrusão foi efetuada em uma linha completa de extrusão utilizando extrusora modelo MI – 130 plus (**Figura 8**), velocidade de rotação da rosca 414 rpm, sistema de extrusão por fricção, com matriz apresentando um furo de 13 mm, sub trafileira com 50 furos de 4 mm, rosca simples e longa com 02 taxas de compressão e camisa helicoidal.



Figura 8. Extrusora utilizada para a extrusão da farinha de feijão.

Os parâmetros da extrusora, largura da rosca, profundidade da rosca, abertura da matriz, taxa de alimentação e velocidade de corte foram mantidos fixos. A umidade e temperatura foram variadas, seguindo o planejamento fatorial, descrito no delineamento experimental.

4.2.6 Obtenção da farinha de feijão extrusada

A extrusão de cada amostra somente foi iniciada após as temperaturas da extrusora, atingirem os valores desejados. Entre uma amostra e outra foi utilizado griz de milho para acerto das temperaturas. Ao final do processamento os extrusados (**Figura 9**) foram moídos,

em moinho modelo MA-PM4, tipo martelo, com rotação de 3550 rpm e potência de 100 cavalos e armazenados em freezer a -18°C até o momento das análises.



Figura 9. Extrusado de feijão: (A) Snacks; (B) Farinhas.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE FEIJÃO E DOS EXTRUSADOS

4.3.1 Composição centesimal

Os teores de umidade (método nº 920.39), cinzas (método nº 923.03), proteínas (micro kjeldhal, método nº 954.01, utilizando fator de conversão 6,25) e lipídios (método nº 920.39) foram determinados, em triplicata, nas farinhas cruas e extrusadas, de acordo com metodologia descrita pela AOAC (2000). O teor de carboidratos foi determinado por diferença, utilizando a equação abaixo:

$$\% \text{ Carboidratos (base seca)} = 100 - (\% \text{ cinzas} + \% \text{ proteínas} + \% \text{ lipídios})$$

4.3.2 Índice de expansão

O índice de expansão foi calculado dividindo-se o diâmetro da amostra pelo diâmetro da matriz do extrusor, conforme metodologia descrita por Ruiz-Ruiz et al. (2008), utilizando paquímetro Vonder modelo PA 205. O valor considerado foi obtido pela média aritmética da medida de 15 amostras de cada extrusado.

4.4 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

4.4.1 Índice de absorção de água (IAA)

O índice de absorção de água (IAA) das farinhas extrusada e não extrusada foi determinado segundo metodologia de Okezie e Bello (1988). Em um tubo de centrífuga com tampa foram colocados 0,5 g de amostra e 25 mL de água destilada. Os tubos foram agitados por 1 minuto em agitador mecânico e, em seguida, centrifugados a 5300 rpm por 20 minutos, em centrífuga Quimis, modelo Q 222 T -204. O líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente e o material remanescente foi pesado e o IAA calculado conforme a fórmula:

$$\text{Índice de absorção de água (IAA)} = \frac{\text{peso da amostra úmida (g)} - \text{peso inicial da amostra(g)}}{\text{peso inicial da amostra(g)}}$$

4.4.2 Solubilidade em água (SA)

A solubilidade em água foi determinada segundo metodologia de Okezie e Bello (1988). Uma suspensão com 25 mL de água e 0,5 g de farinha (base seca) foi preparada em tubos de centrífuga com tampa. Os tubos foram agitados por 1 minuto em agitador EVLAB e em seguida centrifugados a 5300 rpm por 20 minutos em centrífuga MSE Harrier, modelo 15/80. O líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente em placa de petri previamente tarada e levado à estufa para secagem.

A solubilidade em água foi calculada pela relação entre o peso do resíduo seco do sobrenadante (resíduo de evaporação) e o peso seco da amostra conforme fórmula:

$$\text{Solubilidade em água} = \frac{\text{resíduo de evaporação(g)}}{\text{peso da amostra(g)}} \times 100$$

4.4.3 Capacidade de formação de gel

A capacidade de formação de gel das farinhas foi determinada de acordo com metodologia descrita por Coffmann e Garcia (1977). Dispersões de concentrações de amostra variando entre 5% a 20% em 20 mL de água foram preparadas em tubos de ensaio (50 mL). As dispersões foram aquecidas a 90°C (banho-maria Ética, modelo 316) por 30 min, resfriados a temperatura ambiente e refrigerados a 4°C por 2 horas. Em seguida os tubos foram invertidos e analisados quanto à formação de gel.

4.4.4 Propriedades viscoamilográficas

Para avaliação das propriedades de pasta das farinhas de feijão foi utilizado o Rapid Visco Analyser (RVA) da Embrapa Arroz e Feijão, série 4, da *Newport Scientific*, na concentração de 3,0 g de farinha para 25 mL de água destilada, corrigida para a base de 14% de umidade (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

Foi utilizada a programação Extrusion 1, do software Thermocline for Windows, versão 3.11. As programações utilizadas estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Programa de extrusão, programação *Extrusion 1*.

TEMPO	TIPO	<i>Extrusion 1</i> VALOR
00:00:00	Temperatura	25° C
00:00:00	Velocidade de rotação	960 rpm
00:00:10	Velocidade de rotação	160 rpm
00:02:00	Temperatura	25°C
00:07:00	Temperatura	95°C
00:10:00	Temperatura	95°C
00:15:00	Temperatura	25°C

Os parâmetros avaliados foram: viscosidade inicial (VI), que é o pico de viscosidade entre o tempo 0,2 – 2 min, pico de viscosidade (PV), que é a viscosidade máxima obtida após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento, quebra de viscosidade (QV), que é a diferença entre a viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95°C (hold), tendência a retrogradação (TR), que é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção a 95°C (hold) e viscosidade final (VF). Todos os valores obtidos foram expressos em centipoise (cP).

4.5 CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA

4.5.1 Preparo de Extrato Bruto

Foram pesados 1 g de farinha e a ela foram adicionadas 100 mL de tampão fosfato de sódio 0,1 mol⁻¹ pH 7,6. A mistura foi agitada por 30 min, a 4°C. Em seguida foi centrifugada a 5300 rpm, por 15 min. O sobrenadante resultante foi chamado de Extrato Bruto (E.B.) e foi utilizado nos testes de caracterização bioquímica.

4.5.2 Inibidor de tripsina

A análise dos inibidores de tripsina foi realizada segundo metodologia descrita por Kunitz modificada por Arnon (1970). 500 μL de E.B. foram adicionados a 400 μL de tampão fosfato 0.1 mol L^{-1} pH 7,6 e 100 μL de solução de tripsina 0,5 mg mL^{-1} . A solução resultante foi incubada por 10 min a 37 °C e posteriormente adicionou-se 1 mL de solução de caseína 1% (p/v), deixando reagir por mais 10 min a 37 °C. A reação foi interrompida com a adição de 3 mL de ácido tricloroacético (TCA) (10% v/v) e os tubos deixados à temperatura ambiente por 30 min. Posteriormente, os tubos foram centrifugados a 5000 rpm por 10 min e a leitura da absorbância dos sobrenadantes feita em comprimento de onda de 280 nm. No tubo teste para determinação da atividade de tripsina, o volume relativo ao E.B. foi substituído por tampão fosfato. Provas em branco foram feitas com adição de TCA antes da adição da enzima. Uma unidade de enzima (UE) foi definida como sendo a alteração de 0,1 na absorbância a 280 nm. A unidade de inibição (UIT) foi determinada de acordo com a seguinte equação:

$$\text{UIT (UI mg}^{-1}\text{)} = \frac{UE_{\text{amostra sem extrato}}}{UE_{\text{amostra}} + \text{extrato de } \textit{Jatropha}}$$

4.5.3 Digestibilidade das farinhas

4.5.3.1 Digestibilidade protéica *in vitro*

A digestibilidade protéica *in vitro* foi determinada pelo método multienzimático descrito por Akeson e Stahmann (1964) com modificações de Mauron (1973). A 200 mg de farinha foi adicionado 5 mL de uma solução de pepsina 4 mg mL^{-1} em HCl 0,1 mol L^{-1} . A suspensão foi incubada a 37 °C por 3 h. O pH das amostras foi ajustado para pH 8,0 com uma solução de NaOH 0,2 mol L^{-1} e adicionou-se 4 mL de uma solução de pancreatina 10 mg mL^{-1} em tampão fosfato pH 8,0. Incubou-se a suspensão a 37 °C por 4 h. A digestão foi interrompida com a adição de 1 mL de solução de TCA 50 % (p/v), as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm por 10 min e o sobrenadante foi analisado de acordo com metodologia descrita por Lowry et al (1951) usando tirosina como padrão.

A extensão da hidrólise foi calculada de acordo com a equação abaixo, usando como controle uma solução de caseína 1% (v/v):

$$\text{Digestibilidade protéica (\%)} = \frac{[\text{tirosina}] \text{ na farinha hidrolisada} - [\text{tirosina}] \text{ na farinha}}{[\text{tirosina}] \text{ na caseína hidrolisada} - [\text{tirosina}] \text{ na caseína}} \times 100$$

4.5.3.2 Digestibilidade de amido *in vitro*

A digestibilidade de amido *in vitro* foi determinada de acordo com metodologia adaptada de Zabidi e Aziz (2009). 200 mg de farinha foram incubadas com 1 mL de α -amilase de *Aspergillus niger* em banho-maria a 80 °C por 15 minutos. Em seguida, adicionou-se 200 μ L de solução de amiloglicosidase (Sigma-Aldrich) à mistura e procedeu-se incubação a 55°C por 2 h. A amostra foi centrifugada a 5000 rpm por 10 min e a quantidade de açúcar redutor no sobrenadante foi determinada de acordo com Miller (1959) utilizando o ácido dinitrossalicílico (ADNS).

A digestibilidade do amido da farinha foi expressa como porcentagem de açúcar redutor obtida após a hidrólise, usando uma solução de amido a frio 1% (p/v) como controle. Para os cálculos utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Digestibilidade de amido (\%)} = \frac{[\text{açúcar redutor}] \text{ farinha hidrolisada} - [\text{açúcar redutor}] \text{ na farinha}}{[\text{açúcar redutor}] \text{ amido hidrolisado} - [\text{açúcar redutor}] \text{ no amido}} \times 100$$

4.6 ELABORAÇÃO DO CALDO DE FEIJÃO INSTANTÂNEO

Levando-se em conta as propriedades viscoamilográficas das farinhas extrusadas, a farinha do tratamento 7 (T₇) foi utilizada na formulação do caldo de feijão instantâneo. A formulação do caldo de feijão instantâneo está na Tabela 9:

Tabela 9. Formulação do caldo de feijão instantâneo.

INGREDIENTES	QUANTIDADE
Farinha de feijão (T ₇)	20 g
Alho desidratado	0,3 g
Cebola desidratada	0,6 g
Louro em pó	0,3 g
Cebolinha em pó	½ colher de café nivelada
Beterraba em pó	¼ colher de café nivelada
Sal	1 g
Caldo de bacon	½ colher de café nivelada
Água	200 mL

Todos os ingredientes foram pesados separadamente, misturados e adicionados à água fervente. A mistura foi homogeneizada até completa dissolução dos ingredientes.

4.7 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO DESENVOLVIDO

4.7.1 Avaliação Microbiológica

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Controle Higiênico-Sanitário de Alimentos da Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Goiás (LaCHSA / FANUT / UFG).

Na Tabela 10 estão apresentadas as análises realizadas tanto na farinha de feijão como no caldinho de feijão instantâneo, estabelecidas pela Resolução RDC nº12 que regulamenta os Padrões Microbiológicos para Alimentos (BRASIL, 2001). As análises microbiológicas seguiram os procedimentos descritos pela "American Public Health Association" (APHA, 2001).

Tabela 10. Análises microbiológicas recomendadas pelo Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos (BRASIL, 2001) para farinha de feijão e produtos instantâneos.

Análise Microbiológica	Tolerância para amostra
Contagem de <i>Bacillus cereus</i>	3×10^3
Presença de <i>Salmonella sp</i> em 25g	Ausente
Contagem de <i>Coliformes fecais</i> a 45°C	10^2

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises bioquímicas e tecnológicas foram conduzidas em triplicata, com repetição, e os resultados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste Tukey ($P \geq 0,05$) para comparação entre médias, utilizando-se o programa Statistica, versão 6.0 (StatSoft Inc, Tulsa, OK, USA).

O processamento dos dados e a análise estatística da superfície de resposta foram realizados com o auxílio do software Statistica 6.0. A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS

A composição centesimal das farinhas de bandinha de feijão extrusadas está apresentada na Tabela 11. Como pode ser observado, o feijão é um alimento com alto teor de carboidratos e proteínas e um baixo teor de lipídios.

Tabela 11. Composição centesimal das farinhas de feijão após a extrusão (% base seca).

Umidade (%)	Temperatura (°C)	Composição centesimal				
		Umidade	Cinzas	Lipídios	Proteínas	Carboidratos
14	154	5,97 ^{e,f} (0,01)	4,87 ^a (0,10)	1,26 ^a (0,02)	24,60 ^a (0,25)	69,28 ^{a,b} (0,17)
14	174	5,62 ^{f,g} (0,02)	4,85 ^a (0,10)	1,26 ^a (0,03)	24,51 ^a (0,25)	69,39 ^{a,b} (0,18)
22	154	5,24 ^g (0,03)	4,84 ^a (0,09)	1,25 ^a (0,02)	24,42 ^a (0,24)	69,50 ^a (0,17)
22	174	6,33 ^{d,e} (0,05)	4,89 ^a (0,09)	1,26 ^a (0,03)	24,68 ^a (0,25)	69,18 ^{a,b} (0,18)
12,3	164	6,92 ^{b,c} (0,23)	4,91 ^a (0,10)	1,27 ^a (0,02)	24,81 ^a (0,25)	69,02 ^{a,b} (0,18)
23,7	164	7,10 ^b (0,04)	4,92 ^a (0,10)	1,27 ^a (0,03)	24,86 ^a (0,25)	68,96 ^{a,b} (0,18)
18	150	7,70 ^a (0,23)	4,95 ^a (0,10)	1,28 ^a (0,02)	24,99 ^a (0,25)	68,79 ^b (0,18)
18	178	6,35 ^{d,e} (0,01)	4,89 ^a (0,10)	1,26 ^a (0,03)	24,69 ^a (0,25)	69,17 ^{a,b} (0,18)
18	164	6,70 ^{b,c,d} (0,04)	4,90 ^a (0,10)	1,27 ^a (0,02)	24,76 ^a (0,25)	69,08 ^{a,b} (0,18)
18	164	6,69 ^{c,d} (0,04)	4,90 ^a (0,10)	1,27 ^a (0,02)	24,76 ^a (0,25)	69,08 ^{a,b} (0,17)
18	164	6,70 ^{b,c,d} (0,05)	4,90 ^a (0,10)	1,27 ^a (0,02)	24,76 ^a (0,25)	69,08 ^{a,b} (0,18)

Todos os valores são apresentados como média ($\pm$ desvio padrão) de três determinações. Dados na mesma coluna, acompanhados pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($p < 0,05$). (Composição centesimal da farinha crua: 7,7% de umidade, 4,57% de cinzas, 0,84% de lipídios, 62,42% de carboidratos e 24,47% de proteínas).

O processo de extrusão não causou nenhuma mudança significativa na composição centesimal, com exceção do teor de umidade. A maior umidade encontrada no extrusado de feijão pode ser resultado tanto do próprio ajuste de umidade antes do processo de extrusão, quanto das alterações ocorridas na estrutura dos constituintes da farinha, que provavelmente alterou a capacidade de interação dos componentes com a água disponível (RUIZ-RUIZ et al., 2008; WANG et al., 2006).

A composição centesimal de feijões foi relatada por diversos autores (HERNÁNDEZ-DÍAZ et al., 2007; RESENDE et al., 2008; RIBEIRO; PRUDÊNCIO-FERREIRA; MIYAGUI, 2005; GOMES et al. 2006). Nestes trabalhos os valores de umidade apresentados variaram de 7,26 – 16,6%, para as cultivares de feijão *Phaseolus vulgaris*.

As quantidades de cinzas encontradas para o feijão carioca relatados na literatura variam de 2% a 4% (MARZO et al. 2002; MECI; CANIATTI-BRAZACA; ARTHUR, 2005; PIRES et al, 2005; RIBEIRO; PRUDÊNCIO-FERREIRA; MIYAGUI, 2005; RIBEIRO et al., 2009). Os resultados encontrados neste trabalho foram superiores (4,84 – 4,95%). Valores de cinzas variam em função do terreno e condições de cultivo, sendo portanto bastante variável.

O conteúdo de proteínas (18% a 25%), lipídios (0,98% a 3,5%) e carboidratos (56% a 77%) relatado pela literatura está de acordo com os valores encontrados neste trabalho (MESQUITA et al., 2007; PIRES et al., 2005, RESENDE et al., 2008; RIBEIRO; PRUDÊNCIO-FERREIRA; MIYAGUI, 2005; RIOS; ABREU; CORRÊA, 2003).

5.2 ÍNDICE DE EXPANSÃO DOS EXTRUSADOS

A expansão do material ocorre na saída do extrusor devido à diferença de temperatura e pressão interna e externa. Com o superaquecimento do produto ocorre uma rápida evaporação da água na saída da matriz e a formação de células de ar (SEBIO, 1996).

Segundo Gujska (1991) o grau de expansão afeta a densidade, fragilidade e maciez dos produtos extrusados. O maior ou menor grau de expansão vai depender das condições empregadas no processo, grau de gelatinização e constituintes da matéria-prima.

A análise dos valores apresentados na tabela de ANOVA (Tabela 12) indica que o modelo foi estatisticamente significativo e adequado para representar o relacionamento entre as variáveis independentes temperatura e umidade e a variável dependente, neste caso o Índice de expansão (IE), o que pode ser confirmado pelo valor de F apresentado (razão entre F

calculado pelo tabelado). O ajuste do modelo também pode ser avaliado pelo valor de R^2 que foi 0,89; indicando que 89% da variabilidade na resposta pode ser expressa pelo modelo. Isto sugere que o modelo pode representar acuradamente os dados na região coberta pelo delineamento experimental. Outro dado bastante expressivo é o valor reduzido de p , demonstrando o bom domínio da técnica.

Tabela 12. Análise de variância para Índice de expansão dos extrusados.

Causa de variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F	p ⁴
Umidade (Linear)	0,045	1	0,045	55,58	0,0001
Temperatura (Quadrática)	0,006	1	0,006	7,77	0,024
<i>Erro</i>	0,006	8	0,001		

¹SQ: Soma dos quadrados; ²GL: Grau de liberdade; ³QM: Média quadrática; ⁴p: Nível de significância.

O índice de expansão em função dos fatores X_1 e X_2 foram obtidos a partir da equação seguinte:

$$(Eq.1) \text{ IE} = 1,45 + 0,07X_1 + 0,03X_2 \quad (r^2 = 0,89)$$

Onde: X_1 = umidade; X_2 = temperatura

Utilizando a equação 1 pode-se obter o seguinte gráfico de superfície de resposta para o índice de expansão, nos limites operacionais estudados:

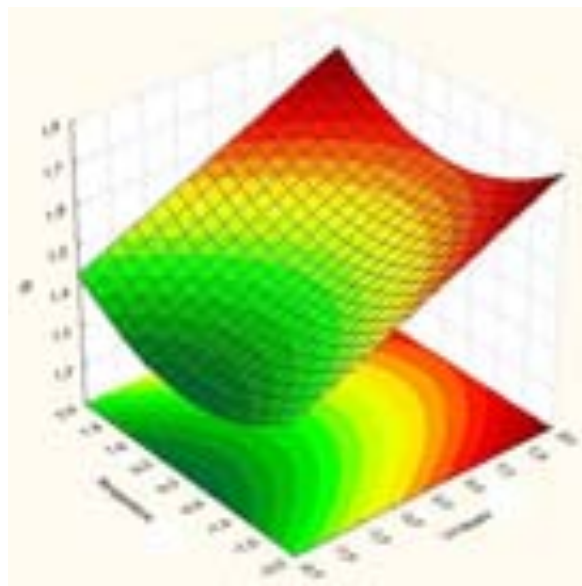


Figura 10. Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura no índice de expansão dos extrusados de feijão.

Na **Figura 10** mostra-se o efeito da umidade da mistura e da temperatura do extrusor no índice de expansão.

De acordo com a **Figura 10** observa-se que em todas as temperaturas estudadas, aumento do teor de umidade da matéria-prima provocou uma tendência de aumento do IE. Por outro lado, em todos os teores de umidade apresentados, o aumento da temperatura provocou diminuição no IE, sendo que em temperaturas maiores o IE mostrou uma tendência de queda acentuada. Os valores máximos para o IE foram observados em teor de umidade de 22% e temperatura intermediária de 154°C. Os valores mínimos para o IE foram encontrados para a temperatura de 154°C e teor de umidade ao redor de 12,3%.

O IE dos extrusados variou de 1,35 a 1,61. A expansão observada nas farinhas de feijão extrusadas deste trabalho é semelhante ao valor de 0,81 a 1,76 encontrada por Cardoso Filho (1993) é inferior aos valores encontrados por Anton, Fulcher e Arntfield (2009), para misturas de amido e farinha de feijão (1,7 a 2,1) e Ruiz-Ruiz et al. (2008) para misturas de milho e feijão comum (1,94 a 2,10).

A relação entre umidade e temperatura nos diferentes tratamentos e o efeito sobre o Índice de expansão pode ser melhor observado na figura abaixo (**Figura 11**).

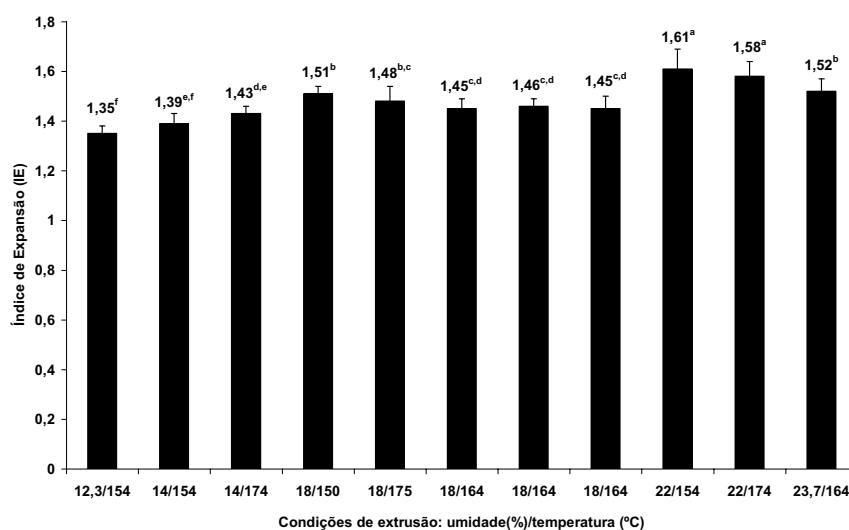


Figura 11. Índice de expansão presente nos extrusados nas diferentes condições de extrusão. Todos os valores são apresentados como média ($\pm$ desvio padrão) de cinco determinações. Médias acompanhadas pela mesma letra não apresentam diferença significativa ($p < 0,05$).

Segundo Hagenimana, Ding e Fang (2006), há duas forças dominantes que proporcionam a expansão dos extrusados, a força elástica da matriz amilácea e a força de crescimento da bolha devido à pressão do vapor d'água, pois a expansão depende da formação de uma matriz amilácea capaz de aprisionar o vapor d'água gerado pela alta temperatura utilizada no processo de extrusão.

Quando os materiais são forçados através do parafuso do extrusor seu conteúdo de água vaporiza e a simultânea saída do vapor expande o amido, produzindo uma estrutura

porosa no extrusado. Entretanto, a presença de fibras e proteínas diminui a capacidade de expansão dos grânulos de amido, uma vez que estes componentes interagem com o amido e impossibilitam a conseqüente evaporação da água presente no grânulo (ANTON; FULCHER; ARNTFIELD, 2009). Portanto, é de se esperar que materiais como as farinhas de feijão apresentem um menor índice de expansão do que outros produtos amiláceos.

5.3 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS EXTRUSADAS

5.3.1 Índice de absorção de água (IAA)

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos para se ligarem em moléculas de água. Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham (CARVALHO et al., 2002).

A absorção de água, considerada como medida do grau de modificação de amido, é outra propriedade indicativa das possibilidades de utilização das farinhas extrusadas. O IAA irá indicar a integridade dos grânulos de amido, ou seja, reflete também o tratamento térmico aplicado e até que ponto esse manteve a estrutura amilácea capaz de absorver água em temperatura ambiente (SILVA et al., 2008).

Silva e colaboradores (2008) afirmaram que a capacidade de absorção de água pela proteína é função de diversos parâmetros, incluindo: tamanho, forma, características conformacionais, balanço hidrofílico-hidrofóbico nas moléculas de proteína, propriedades termodinâmicas do sistema, pressão de vapor, temperatura e solubilidade das moléculas da proteína.

Os valores encontrados para IAA de acordo com as condições experimentais deste trabalho são mostrados na Tabela 11. Como pode ser visto, índices de absorção de água das farinhas de feijão extrusadas mostraram uma variação de 3,75 a 4,48 g/g farinha. Estes valores foram superiores aos obtidos para farinha não extrusada, que foi de 3,41 g/g farinha. Este resultado indica que a gelatinização do amido ocorreu em todos os tratamentos. Por outro lado, a desnaturação de proteínas solúveis em água, também poderia levar a um aumento do IAA, pois a massa do gel de amido seria acrescentada a da proteína desnaturada.

Tabela 13. Índices de absorção de água das farinhas de feijão extrusadas.

Tratamento	Umidade (%)	Temperatura (°C)	IAA (g/g)
1	14	154	3,75
2	14	174	3,91
3	22	154	4,20
4	22	174	4,48
5	12,3	164	3,79
6	23,7	164	4,28
7	18	150	3,88
8	18	178	4,12
9	18	164	4,14
10	18	164	4,10
11	18	164	4,10

A análise de variância dos efeitos pode ser visualizada na Tabela 14. A análise dos valores apresentados na tabela indica que o modelo foi estatisticamente significativo considerando o efeito linear das variáveis independentes temperatura e umidade, o que pode ser confirmado pelo valor de F apresentado (razão entre F calculado pelo tabelado). O ajuste do modelo também pode ser avaliado pelo valor de R^2 que foi 0,93; indicando que 93% da variabilidade na resposta podem ser expressas pelo modelo. Isto sugere que o modelo pode representar acuradamente os dados na região coberta pelo delineamento experimental. Outro dado bastante expressivo é o valor reduzido de p, demonstrando o bom domínio da técnica.

Tabela 14. Análise de variância para Índice de Absorção de água dos extrusados.

Causa de Variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F	p ⁴
Umidade (Linear)	0,36	1	0,365	74,66	0,00003
Temperatura (Linear)	0,08	1	0,079	16,22	0,0038
<i>Erro</i>	0,04	8	0,005		

¹SQ: Soma dos quadrados; ²GL: Grau de liberdade; ³QM: Média quadrática; ⁴p: Nível de significância.

A equação 2, portanto, serve para prever os valores de IAA de acordo com as variáveis e o intervalo de variação estudados.

$$(Eq.2) IAA = 1,47 + 0,05X_1 + 0,01X_2 \quad (r^2 = 0,93)$$

Onde: X_1 = umidade; X_2 = temperatura

Da equação 2 pode-se obter o gráfico de superfície de resposta para o Índice de absorção de água, nos limites estudados no delineamento experimental:

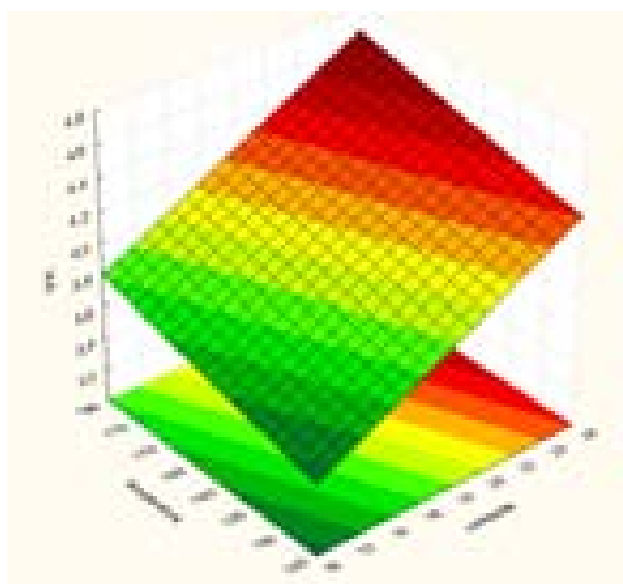


Figura 12. Índice de Absorção de Água (IAA) em função do conteúdo de umidade e temperatura.

Analisando a **Figura 12** observa-se que umidade e temperatura encontradas têm efeito significativo sobre o IAA dos extrusados. Pode-se observar que os maiores valores de IAA (4,48 g/g gel) foram obtidos, no tratamento 4, tratamento com alta umidade (22%) e altas temperaturas (174°C). Os menores valores de IAA (3,75 g/g gel) foram obtidos, no tratamento 1, tratamento com de temperaturas baixas (154°C) e umidades baixas (14%).

Altos teores de umidade durante o processo de extrusão, seguidos por baixas taxas de cisalhamento ocasionam redução de atrito do parafuso e da parede interna do tubo extrusor sobre as moléculas de amido, pois a água funciona como lubrificante no meio, resultando, assim, em menor degradação da amilose e amilopectina e, conseqüentemente, em aumento do IAA (SILVA; ASCHERI, 2009). Alguns autores sugerem que o aumento do IAA nos extrusados pode ser resultado, também, da gelatinização do amido, pois a combinação de alta temperatura e força mecânica durante a extrusão ocasiona a separação das cadeias de amilose e amilopectina, formando uma matriz expansível responsável pela maior capacidade de retenção de água (FILLI; NKAMA, 2007; MARTÍN-CABREJAS et al., 1999). Entretanto,

Wang et al. (2006) relatam que altas temperaturas de extrusão podem causar hidrólise de amido, reduzindo a sua capacidade de gel, com conseqüente redução da capacidade de absorção de água.

Como a absorção de água é em grande parte, influenciada por interações proteína-água, água-água e efeitos de capilaridade, segundo Alonso et al. (2000), o aumento do IAA após a extrusão resulta do aumento da capacidade de interação com a água da nova estrutura formada pela desnaturação de proteínas durante o processo.

O aumento do IAA de feijões comuns após processamento térmico foi relatado por Alonso et al. (2000), trabalhando com extrusão de feijão comum sem efeito de endurecimento (46,5%); e Martín-Cabrejas et al. (1999), para extrusados de feijão comum endurecido (53%).

5.3.2 Solubilidade em água (%SA)

A solubilidade em água (SA) é um parâmetro que reflete o grau de degradação do grânulo de amido, ou seja, a somatória dos efeitos de gelatinização e dextrinização. O aumento da solubilidade verificado em produtos extrusados é atribuído à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina como conseqüência da gelatinização, quando as condições são mais brandas, e da formação de compostos de baixo peso molecular, quando estas são mais drásticas (COLONNA et al., 1984).

A solubilidade de um produto depende da sua constituição química e das interações entre os seus constituintes e a água. No caso de farinhas de feijão, a solubilidade irá depender, em grande parte, das propriedades das proteínas e amido presentes no grão. A solubilidade de uma proteína em água é afetada pelo número de interações proteína-proteína e proteína-água existentes. As interações hidrofóbicas resultam na diminuição da solubilidade, enquanto que as interações iônicas e polares permitem interações das proteínas com as moléculas de água e, conseqüentemente, aumentam a solubilidade destas moléculas (RIBEIRO, 2003).

Os valores encontrados para solubilidade em água de acordo com as condições experimentais deste trabalho são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15. Solubilidade em água das farinhas de feijão extrusadas.

Tratamento	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Solubilidade em água (%)
1	14	154	15,85
2	14	174	21,80
3	22	154	19,90
4	22	174	21,92
5	12,3	164	19,92
6	23,7	164	23,80
7	18	150	17,96
8	18	178	19,94
9	18	164	21,78
10	18	164	21,78
11	18	164	21,78

A solubilidade em água das farinhas de feijão extrusadas variou de 15,85 a 23,8%. Comparados ao valor obtido para a farinha crua (33%), todos os tratamentos apresentaram solubilidade em água inferior. Valores semelhantes aos encontrados neste trabalho foram encontrados por Cardoso Filho (1993). Estes resultados indicaram que o efeito resultante da insolubilização das proteínas foi maior do que aquele proporcionado pela solubilização do amido (Carvalho et al., 2002).

A análise destes resultados é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16. Análise de variância para Solubilidade em água dos extrusados.

Causa de Variação	SQ ¹	GL ²	QM ³	F	p ⁴
Umidade (Linear)	11,73	1	11,73	17,76	0,006
Temperatura (Linear)	14,59	1	14,59	22,09	0,003
Temperatura (Quadrática)	14,21	1	14,21	21,51	0,004
Efeito de interação (X ₁ / X ₂)	3,88	1	3,877	5,87	0,052
<i>Erro</i>	3,96	6	0,661		

¹SQ: Soma dos quadrados; ²GL: Grau de liberdade; ³QM: Média quadrática; ⁴p: Nível de significância.

A análise da tabela de ANOVA mostra que o modelo foi estatisticamente significativo e adequado para representar o relacionamento entre as variáveis independentes temperatura e

umidade e a variável dependente, neste caso a solubilidade em água dos extrusados. Esta relação pode ser confirmada pelo valor de F apresentado (razão entre F calculado pelo tabelado). O encaixe do modelo também pode ser avaliado pelo valor de R^2 que foi 0,92, indicando que 92% da variabilidade na resposta pode ser expressa pelo modelo. Isto sugere que o modelo pode representar acuradamente os dados na região coberta pelo delineamento experimental. Outro dado bastante expressivo é o valor reduzido de p, demonstrando o bom domínio da técnica.

A equação 3, portanto, serve para prever os valores de solubilidade em água dentro das condições utilizadas neste trabalho.

$$(Eq.3) : \%SA = 4,33X_1 + 5,63X_2 - 0,015X_2^2 - 0,025X_1X_2 - 493,14 \quad (r^2 = 0,92)$$

Onde: X_1 = umidade; X_2 = temperatura

A equação foi utilizada para construção do gráfico de superfície de resposta para a solubilidade em água nos limites operacionais do delineamento experimental, mostrado na Figura 13.

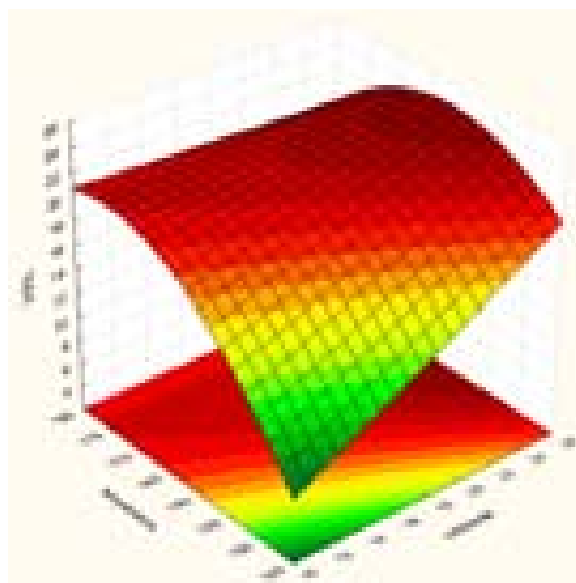


Figura 13. Solubilidade em água em função do conteúdo de umidade e temperatura.

Como pode ser observada, a solubilidade em água aumentou com o aumento da umidade e diminuiu consideravelmente com a diminuição desta variável. Os valores máximos registrados para a solubilidade em água foram encontrados nas regiões de alto teor de umidade (23,7 %) e temperatura intermediária (164 °C). O inverso foi encontrado para os

valores mínimos de solubilidade em água obtidos em regiões de baixo teor de umidade (14 %) e baixa temperatura (154 °C).

Fatores como estrutura da proteína e a extensão de desnaturação protéica podem influenciar significativamente na solubilidade das farinhas. Além disso, a solubilidade do amido em água reflete o grau de degradação total do grânulo de amido, levando em consideração a gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização da molécula (BORBA et al., 2005). No caso do feijão, a razão amilose/amilopectina no amido, a natureza e estrutura conformacional das proteínas varia enormemente entre as diferentes cultivares, o que explica os diferentes valores de solubilidade em água relatados na literatura (ALONSO et al., 2000; ROCHA-GUZMÁN et al., 2006).

5.3.3 Capacidade de formação de gel

A gelatinização do amido afeta a qualidade do alimento por influenciar a textura (elasticidade e maciez), digestibilidade, palatibilidade, volume e vida útil dos produtos (CHIANG; JOHNSON, 1977). A gelatinização do amido produz alterações estruturais significativas, destruindo as cadeias de polímeros e permitindo sua liberação (GÓMEZ; AGUILERA, 1983).

Os resultados apresentados na Tabela 17 para capacidade de formação de gel demonstraram que as farinhas cruas apresentaram uma menor capacidade de formação de gel do que as extrusadas.

Tabela 17. Capacidade de formação de gel das farinhas crua e extrusada.

Tratamento	Concentração de farinha (g 100 mL ⁻¹)											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20
Crua	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
2	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
3	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
4	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
5	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
6	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
7	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
8	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
9	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
10	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
11	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+

Testes realizados em triplicata. Ausência de gelificação (-); formação de gel (+).

A melhor capacidade de formação de gel apresentada pelos extrusados em relação à farinha crua provavelmente é resultado da melhora da capacidade de absorção de água, além das alterações sofridas nas propriedades moleculares e físico-químicas das biomoléculas. Em especial, proteínas e polissacarídeos são eficientes gelificantes por serem capazes de formar redes tridimensionais. A desnaturação protéica e alterações na estrutura de polissacarídeos como o amido durante a extrusão aumentam o tamanho das moléculas, que passam a formar mais ligações cruzadas originando extensas redes tridimensionais, responsáveis por melhorar a capacidade de formação de gel das amostras (ZHENG et al., 2008; BATISTA et al., 2010a).

5.3.4 Propriedades viscoamilográficas

A viscosidade é uma forma de avaliar o grau de cozimento de materiais farináceos e amidos, ou seja, é um indicativo do grau de gelatinização. Nas suspensões de farinhas de cereais e leguminosas a viscosidade depende da capacidade dos grânulos de amido absorver água, inchar, romper-se e difundir-se no meio líquido. As modificações dos grânulos de amido pelo processo de gelatinização determinam as propriedades funcionais das matérias-primas amiláceas e suas aplicações industriais. A curva de viscosidade representa o comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada, devido às modificações estruturais das moléculas de amido, e de outros componentes (NICOLETTI, 2007).

Os parâmetros avaliados foram: viscosidade inicial, pico de viscosidade, quebra de viscosidade, tendência à retrogradação, viscosidade final e temperatura de pasta (Tabela 18).

Tabela 18. Propriedades de pasta das farinhas crua e extrusadas.

Tratamentos	Viscosidade inicial (cP)	Pico de viscosidade (cP)	Quebra de viscosidade (cP)	Viscosidade final (cP)	Retrogradação (cP)	Temperatura de pasta (°C)
Crua	20	217	1	479	263	55
1	75	169	2	377	210	55,2
2	76	137	14	340	217	46,2
3	107	146	4	333	191	48
4	103	122	17	276	171	39,7
5	93	206	14	486	294	53
6	95	104	18	239	153	39
7	124	109	8	279	178	42
8	110	85	6	228	149	36
9	87	139	12	346	219	46
10	87	139	12	346	219	46
11	87	139	12	346	219	46

5.3.4.1 Viscosidade inicial (VI) a 25 °C

A viscosidade inicial a 25°C, também chamada de viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das farinhas em absorver água a temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso, como resultado da gelatinização do amido e da extensão da quebra de moléculas, durante o processo de extrusão. Para amidos nativos, esta viscosidade é praticamente zero. Esta propriedade é muito importante na preparação de alimentos instantâneos (CARVALHO et al., 2002).

Segundo Colonna et al. (1987), comparado a outros tratamentos térmicos, a principal desvantagem dos amidos que passaram por extrusão é a sua reduzida viscosidade inicial. Em contraste, sua lenta dispersão em água fria, e rápida dispersão em água quente formam produtos de várias consistências e permite o uso comercial desta técnica para produção de alimentos instantâneos.

A VI das farinhas extrusadas variou de 75 a 124 cP, enquanto que a VI da farinha crua foi 20 cP. De acordo com estes resultados conclui-se que o processo de extrusão aumentou significativamente este parâmetro. Nas amostras extrusadas o amido já está gelatinizado, o que torna possível a rápida hidratação comparada à amostra crua. Esta característica é desejável em produtos instantâneos, onde se deseja obter uma boa viscosidade a frio para o produto.

O valor da viscosidade inicial se eleva com a prévia gelatinização da amostra e decresce quando os grânulos de amido se rompem e são despolimerizados durante a cocção (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998). Quanto maior for o grau de gelatinização, maior será a viscosidade inicial (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009).

Como observado na Tabela 14 (RVA), o comportamento viscoamilográfico resultante dos tratamentos, indica que maiores valores de viscosidade inicial são obtidos nas condições de baixas temperaturas (150 °C) e intermediários valores de umidade (18%), como o encontrado no tratamento 7 (**Figura 14**).

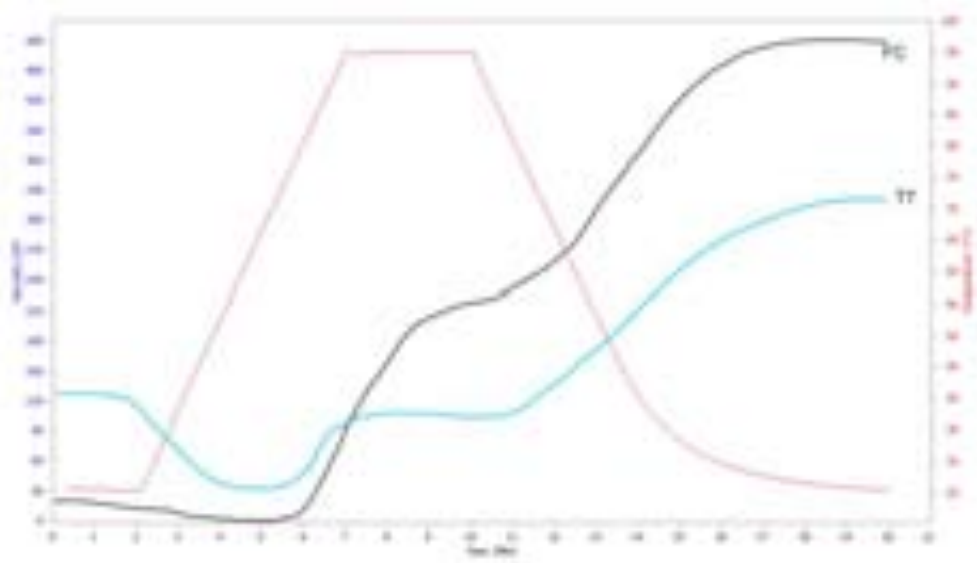


Figura 14. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a viscosidade inicial (VI) das farinhas de feijão. FC – farinha crua; T₇ - farinha extrusada (18%/150°C).

Por outro lado, na amostra extrusada a 14% de umidade e temperatura de 154°C, constatou-se um menor valor de viscosidade inicial com 75 cP, (Tratamento 1). Silva e Ascheri (2009) constataram que valores baixos ou intermediários de umidade seguidos de alta rotação do parafuso, como a exemplo do que aconteceu no tratamento 1, podem resultar numa dextrinização excessiva das cadeias de amilose e amilopectina e, por consequência, diminuir os valores de VI. Além disso, Teba, Ascheri e Carvalho (2009) ressaltaram que valores muito baixos de viscosidade inicial de materiais extrusados podem ser explicados pelo conteúdo protéico e pela presença de fibras nas matérias primas, como é o caso da farinha de feijão preto (SILVA et al., 2008).

Os resultados obtidos neste trabalho encontram-se próximos dos citados por Borba (2005), que constataram altos valores de VI para baixos valores de umidade e baixas temperaturas, ou com altas taxas de umidade e altas temperaturas.

Segundo Sebio (1996) o efeito da umidade na viscosidade inicial pode ser explicado pela lubrificação que o alto teor de água provoca na rosca do extrusor evitando assim maior ocorrência de degradação mecânica dos grânulos de amido obtendo-se, portanto, valores altos de VI.

5.3.4.2 Pico de viscosidade (PV)

Este parâmetro se refere ao pico de viscosidade após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento da suspensão no viscoamilógrafo. Durante o ciclo de aquecimento até 95°C, ocorre intumescimento, dextrinização, gelatinização dos grânulos de amido e

absorção máxima de água pelos grânulos de amido, que atingem a viscosidade máxima nesta etapa (LUSTOSA et al., 2009).

No processo de extrusão, dependendo das condições do processo, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma apresente ausência de pico e valores baixos de viscosidade. Entretanto, se os tratamentos não forem muito severos, uma determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea. Nestas condições observam-se valores relativamente altos de picos de viscosidade, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009).

A viscosidade a quente indica as possibilidades de utilização da farinha extrusada. Torna-se importante quando, por exemplo, a farinha for destinada ao preparo de sopas, caldinhos, tortas ou outros alimentos em que é necessário conservar a viscosidade em temperaturas acima da ambiente (SILVA et al., 2008).

Na Tabela 18 mostra-se que a maioria das farinhas de feijão extrusadas apresentou valores de pico de viscosidade superiores aos valores de VI. Com exceção dos tratamentos 7 e 8, que apresentaram valores de PV inferiores aos valores de VI. Estes resultados indicam que a gelatinização dos grânulos de amido tornaram-nos mais susceptíveis aos danos mecânicos, daí os resultados apresentados para PV terem sido inferiores aos resultados obtidos para VI. Por outro lado, a ausência de pico durante o aquecimento indicou que a elevação da temperatura no viscoamilógrafo não afetou sensivelmente o entumescimento dos grânulos.

Os picos de viscosidade das farinhas extrusadas variaram entre 85 a 206 cP. Estes valores foram inferiores ao da farinha crua que foi de 217 cP, devido à gelatinização do amido durante o processo de extrusão. Esta variação indica diferentes graus de gelatinização entre os tratamentos efetuados.

O aumento da viscosidade com a elevação da temperatura no ciclo de aquecimento ocorre pela perda parcial das pontes de hidrogênio que unem as frações presentes no amido. Isso origina sítios hidrofílicos que se ligam a moléculas de água, aumentando a solubilidade do amido e a viscosidade a quente (ASCHERI; CARVALHO, 2006).

Na **Figura 15** da farinha extrusada com melhor resultado de PV, entre os tratamentos, indica-se que maiores valores de pico de viscosidade são obtidos nas condições de médias temperaturas (164°C) e baixas umidades (12,3%), como aplicado no tratamento 5.

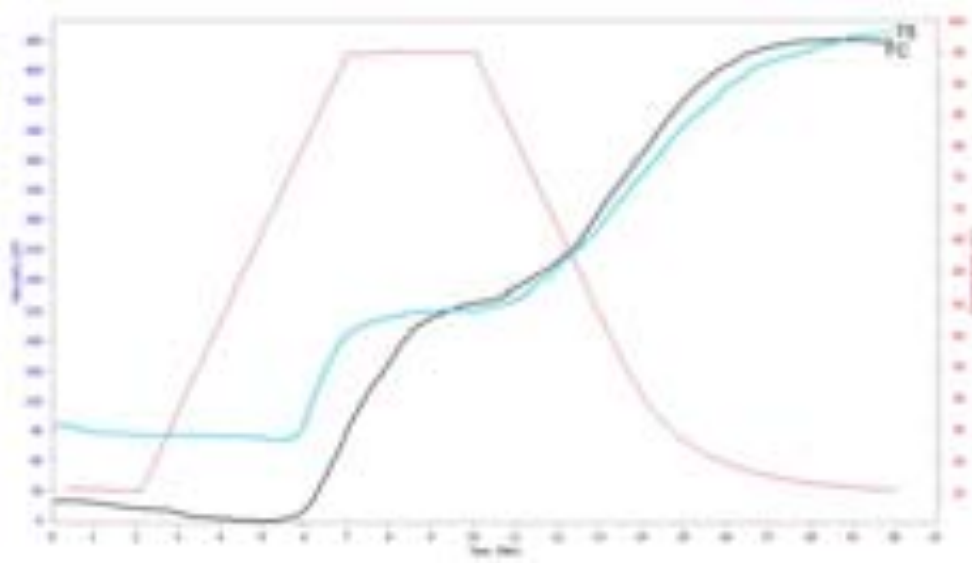


Figura 15. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre o pico de viscosidade (PV) das farinhas de feijão. FC – farinha crua; T 5 - farinha extrusada (12,3%/164°C).

5.3.4.3 Quebra de viscosidade (QV)

A quebra de viscosidade representa a diferença entre o pico de viscosidade e o menor valor de viscosidade após o pico no perfil amilográfico. Esta propriedade permite avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, sob agitação mecânica, o que é de extrema importância para alimentos pré-cozidos, uma vez que indica, indiretamente, a capacidade do produto se manter íntegro durante o cozimento (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009).

Na Tabela 14 observa-se o efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a quebra de viscosidade das farinhas extrusadas. As menores quebras de viscosidade são verificadas nas condições de baixa umidade (14%) e baixa temperatura (154°C).

A QV da farinha crua foi a mais baixa (1 cP), comparada às apresentadas pelas farinhas extrusadas, que variaram de 2 a 18 cP.

Na **Figura 16**, referente à quebra de viscosidade (QV) da farinha extrusada, apresenta-se o melhor resultado entre os tratamentos (tratamento 6). Nela pode-se observar que os maiores valores de quebra de viscosidade são obtidos nas condições de médias temperaturas (164°C) e altas umidades (23,7%).

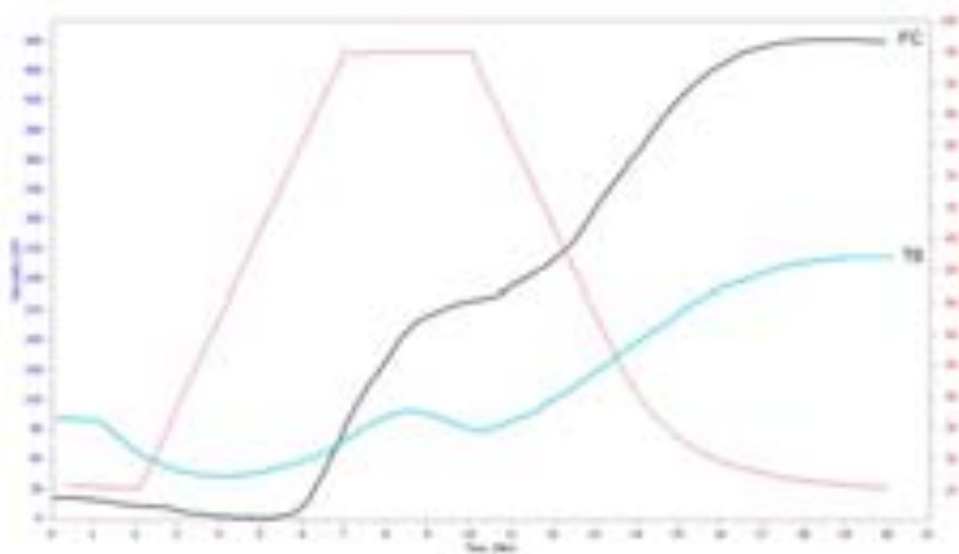


Figura 16. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a quebra de viscosidade (QV) das farinhas de feijão. FC – farinha crua; T 6 - farinha extrusada (23,7%/164°C).

5.3.4.4 Tendência à retrogradação (TR)

A tendência à retrogradação mede a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o pico. Esta propriedade permite avaliar o comportamento do amido durante a fase de resfriamento.

Na Tabela 18 observa-se o efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a tendência à retrogradação das farinhas extrusadas. O menor valor à tendência à retrogradação foi encontrado, no tratamento 8, nas condições de umidade intermediária (18%) e alta temperatura (178°C). Baixos valores de tendência à retrogradação se devem ao baixo conteúdo de amido e presença de lipídios, proteínas e fibras.

Os valores de tendência à retrogradação das farinhas extrusadas variaram de 149 a 294 cP. Maiores valores de tendência à retrogradação são obtidos na temperatura de 164°C e umidades até 14%, encontrados no tratamento 5.

Na **Figura 17** destaca-se à tendência à retrogradação (TR) da farinha extrusada com melhor resultado entre os tratamentos.

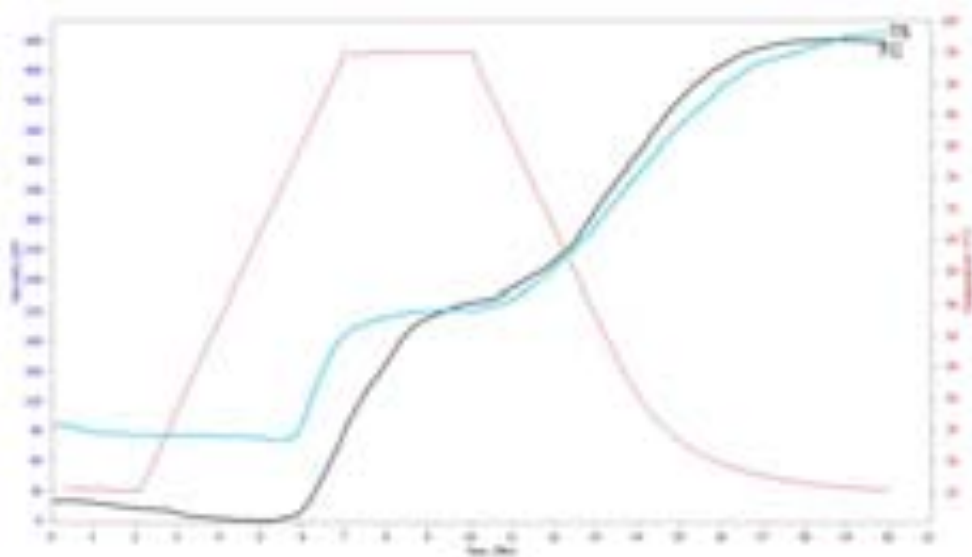


Figura 17. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a tendência à retrogradação (TR) das farinhas de feijão. FC – farinha crua; T 5 - farinha extrusada (12,3%/164°C).

A retrogradação é a tendência das moléculas de se recrystalizarem. Em tratamentos mais severos, onde os valores de TR são menores, ocorre maior degradação dos polímeros, com rompimento das estruturas moleculares e redução da capacidade de recrystalização dos mesmos. Baixos valores de tendência à retrogradação indicam estabilidade térmica e baixa tendência à retrogradação e, portanto, sua inclusão em produtos alimentícios pode contribuir para estabilização do produto final. Desta forma, tendo em vista os resultados obtidos, pode-se dizer que as condições experimentais utilizadas no processamento preservaram a estrutura amilácea.

5.3.4.5 Viscosidade final (VF)

A viscosidade final é uma característica que, em produtos extrusados, vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e das moléculas durante o processamento (EL-DASH, 1982). Este parâmetro avaliado durante o ciclo de resfriamento está relacionado com a retrogradação do amido (SILVA et al., 2008). A VF das farinhas extrusadas variou de 228 a 486 cP, sendo que o valor obtido para a farinha não extrusada foi 479 cP.

Na Tabela 18 observa-se o efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a viscosidade final das farinhas extrusadas. De modo geral, conforme se aumentou a temperatura e a umidade, os valores de viscosidade final diminuíram. O menor valor para viscosidade final das farinhas extrusadas foi encontrado nas condições de umidade intermediária (18%) e alta temperatura (178°C).

Resultados similares foram obtidos no trabalho de Aschieri (2008), no qual, o valor máximo de viscosidade final pela amostra submetida à menor temperatura (70°C) e menor umidade (30%) no delineamento, enquanto o menor valor de viscosidade final apresentado está relacionado com amostra submetida à temperatura maior (96°C) e maior umidade (35%) (SILVA et al., 2008).

Na **Figura 18** destaca-se à viscosidade final (VF) da farinha extrusada, com melhor resultado entre os tratamentos, indicando que maiores valores de viscosidade final são obtidos nas condições de médias temperaturas (164°C) e baixas umidades (12,3%), encontrados no tratamento 5.

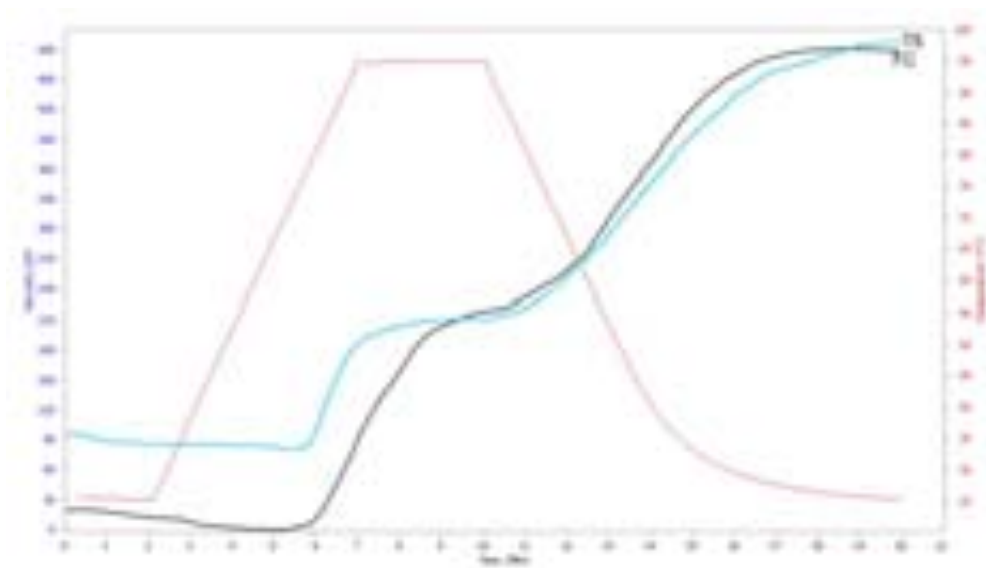


Figura 18. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre a viscosidade final (VF) das farinhas extrusadas. FC – farinha crua; T 5 - farinha extrusada (12,3%/164°C).

O aumento da viscosidade final durante o resfriamento provavelmente ocorreu em função do alinhamento das cadeias de amilose, bem como outras interações entre lipídios, proteínas e carboidratos complexos.

5.3.4.6 Temperatura de Pasta (TP)

Os dados mostrados na Tabela 18 revelam que a temperatura de pasta entre os diferentes tratamentos variou de 36 a 55,2°C. O valor mais alto de temperatura de pasta foi obtido no tratamento 1, em que as condições de extrusão foram de 14% umidade e temperatura de 154°C. Por outro lado, o valor mais baixo de temperatura de pasta corresponde ao tratamento 8, onde as condições de extrusão foram 18% de umidade e temperatura de 178°C.

As baixas condições de umidade e temperatura do tratamento 1 resultaram em um extrusado que apresentou característica de pasta muito similar ao da farinha crua. No entanto, mesmo não tendo sido muito eficiente na redução da temperatura de pasta, este tratamento foi capaz de promover alterações nos componentes da farinha de modo que a viscosidade inicial, ou seja, a frio, foi 3,8 vezes maior do que a da farinha crua.

Por outro lado, é interessante ressaltar que o tratamento 8 resultou em um extrusado com temperatura de pasta muito próxima à temperatura ambiente, o que lhe dá possibilidades bastante promissoras para aplicações em alimentos instantâneos.

5.4 CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA

5.4.1 Inibidores de Tripsina

Os valores médios de inibidores de tripsina, expressos como unidade de inibição por miligrama de amostra (UI mg⁻¹) para a farinha crua de feijão foi de 3,6, o que representou uma redução de 90,7%, na atividade de tripsina.

Os valores de inibidores de tripsina relatados na literatura para feijão encontram-se em duas faixas de 3,1 a 8,1 UI mg⁻¹ e de 14 a 51 UI mg⁻¹ (ALONSO; AGUIRRE; MARZO, 2000; ANTON; FULCHER; ARNTFIELD, 2009; EL-HADY; HABIBA, 2003; GUILLAMÓN et al., 2008; MARZO et al., 2002; PIERGIOVANNI; PIGNONE, 2004; RIVAS-VEGA et al., 2006; SHOSHIMA; TAVANO; NEVES, 2005). A extensa faixa de variação desses valores é, de acordo com Clarke e Wiseman (2005), atribuída às diferenças entre as espécies, constituição química, métodos de processamento e condições de armazenamento das diferentes variedades de feijão.

As condições operacionais do processo de extrusão diminuíram significativamente a atividade inibitória dos inibidores de tripsina, das farinhas de feijão extrusadas em comparação com a farinha crua. Os resultados encontrados são semelhantes aos resultados observados na literatura, que reportam a diminuição dos fatores antinutricionais do feijão e de outras leguminosas com o aumento da temperatura do processo (DRAGO et al., 2007).

5.4.2 Digestibilidade protéica *in vitro*

A digestibilidade é um parâmetro nutricional utilizado para avaliar o aproveitamento de uma fonte protéica e, no caso de feijões é influenciada por inibidores de enzimas digestivas, hemaglutininas e outros antinutricionais, presentes em quantidades variadas dentre as cultivares, o que gera valores diferentes de digestibilidade entre as espécies de feijão e, dentro de uma mesma espécie, diferenças de uma cultivar para outra (MENDONÇA et al., 2003).

Os valores de digestibilidade protéica *in vitro* das farinhas crua e extrusada são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Digestibilidade protéica de farinha de feijão crua e extrusados.

Tratamento	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Digestibilidade (%)
1	14	154	54,62 ± 1,4 ^b
2	14	174	53,10 ± 0,46 ^b
3	22	154	43,19 ± 1,5 ^{c,d}
4	22	174	46,90 ± 0,56 ^c
5	12,3	164	65,17 ± 1,62 ^a
6	23,7	164	43,92 ± 0,28 ^{c,d}
7	18	150	47,29 ± 1,12 ^c
8	18	178	37,77 ± 0,56 ^e
9	18	164	56,99 ± 2,52 ^b
10	18	164	57,00 ± 2,50 ^b
11	18	164	56,90 ± 2,50 ^b
Farinha crua			39,28 ± 0,67 ^{d,e}

Os valores são apresentados como média de três determinações.

^{a-f} Diferença de letras na mesma coluna indica diferença estatística significativa (p≤0,05).

A digestibilidade encontrada para a farinha crua foi similar aos valores encontrados por Mesquita et al. (2007), para algumas variedades de feijão comum e inferiores aos relatados por diversos autores para feijões comuns (EL-HADY; HABIBA, 2003; MENDONÇA et al., 2003; REHMAN; SHAH, 2005; SHIMELIS; RAKSHIT, 2007).

Após a extrusão, as farinhas apresentaram aumento significativo da digestibilidade protéica. As farinhas de feijão extrusadas apresentaram valores entre 46,9% e 65,17% na digestibilidade protéica, que representa um aumento entre 19% e 66%. Apenas o tratamento 8 não apresentou aumento significativo da digestibilidade protéica. A alta temperatura (178°C) deste tratamento associada à 18% de umidade pode ter causado complexação das proteínas com outros componentes impedindo sua solubilização e a ação das enzimas digestivas.

A desnaturação protéica ocasionada pela combinação de calor, umidade e força mecânica durante o processo provavelmente possibilitou a exposição de sítios de ação enzimática que estavam protegidos na proteína nativa, tornando as proteínas mais suscetíveis à proteólise (GIAMI, 2005; KHATTAB; ARNTFIELD; NYACHOTI, 2009; REHMAN; SHAH, 2005; ROCHA-GUZMÁN et al., 2008; SHIMELIS; RAKSHIT, 2007). Combinado a isso, a redução de inibidores de tripsina após a extrusão também contribuiu para o aumento da digestibilidade protéica (SHIMELIS; RAKSHIT, 2007; RUIZ-RUIZ et al., 2008).

O aumento da digestibilidade protéica *in vitro* dos extrusados observado neste trabalho foi superior ao relatado por El-Hady e Habiba (2003) para extrusados de *P. vulgaris* cru (8,2% a 11,5%) e macerado (10,1 a 12,9%) e por Shimelis e Rakshit (2007) para sementes de feijão comum submetidas a brotamento e autoclavagem (17% a 22%).

Alonso, Aguirre e Marzo (2000) ao compararem diversos métodos de processamento de feijão das espécies *Vicia faba* e *Phaseolus vulgaris*, relataram que a extrusão foi o método mais eficaz para melhorar a digestibilidade de proteínas, em comparação com descascamento, maceração e germinação.

5.4.3 Digestibilidade *in vitro* de amido

Os valores médios obtidos para a digestibilidade *in vitro* de amido das farinhas de feijão antes e após a extrusão encontram-se na Tabela 20.

Tabela 20. Digestibilidade de amido de farinha de feijão crua e extrusados.

Tratamento	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Digestibilidade (%)
1	14	154	84,43 ± 0,51 ^d
2	14	174	78,05 ± 0,31 ^e
3	22	154	95,23 ± 1,27 ^a
4	22	174	87,52 ± 0,51 ^c
5	12,3	164	73,28 ± 0,25 ^f
6	23,7	164	90,15 ± 1,27 ^{b,c}
7	18	150	96,91 ± 0,25 ^a
8	18	178	92,49 ± 0,41 ^b
9	18	164	90,29 ± 0,36 ^b
10	18	164	90,30 ± 0,35 ^b
11	18	164	90,29 ± 0,35 ^b
Farinha crua			58,84 ± 0,31 ^g

Os valores são apresentados como média de três determinações.

^{a-f} Diferença de letras na mesma coluna indica diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$).

A digestibilidade do amido depende da quantidade de amido susceptível à ação da amilase e amiloglicosidase, bem como das características estruturais do grânulo de amido. A presença de inibidores de amilase na farinha de feijão pode reduzir a atividade dessa enzima e, conseqüentemente, provocar diminuição da digestibilidade do amido. Além disso, de acordo com Sandhu e Lim (2008) a razão amilose/amilopectina e a estrutura molecular da amilopectina também podem interferir na digestibilidade do amido. Um alto teor de amilose origina uma maior quantidade de amido resistente, que influencia negativamente a digestibilidade (THARANATHAN; MAHADEVAMMA, 2003).

As farinhas de feijão extrusadas apresentaram aumento entre 25% e 65% na digestibilidade de amido. A combinação de umidade, temperatura e força mecânica do processo de extrusão ocasionam tanto eliminação de antinutricionais (inibidores de tripsina), quanto gelatinização, tornando o amido mais facilmente hidrolisável (ALONSO; AGUIRRE; MARZO, 2000; REHMAN; SHAH, 2005).

Berrios (2006), ao comparar diversos métodos de processamento de leguminosas, relata que a extrusão foi o método mais eficaz para melhorar a digestibilidade tanto de proteínas quanto de amido em feijão comum.

5.5 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA

A presença ou contagem de microorganismos nos alimentos pode causar doenças no ser humano, sendo, portanto, indicadores de condições sanitárias (SILVA JÚNIOR, 2001).

Para farinhas de feijão e caldos de feijão instantâneos, a legislação brasileira estabelece como referência de qualidade microbiológica a análise de *Bacillus cereus*, *Coliformes fecais a 45°C* e *Salmonella sp.* Conforme descrito na Tabela 21, os resultados das análises microbiológicas indicaram que todas as amostras de farinhas de feijão extrusadas e o caldo de feijão instantâneo apresentaram-se de acordo com os padrões estabelecidos pelo Regulamento Técnico da Resolução RDC nº 12 (BRASIL, 2001). Como controle de manipulação realizou-se a contagem de *Estafilococos* coagulase positiva. Os resultados foram satisfatórios para consumo (< 100 UFC/g), embora esta análise não seja exigida pela legislação vigente.

Tabela 21. Resultados das análises microbiológicas indicaram que todas as amostras de farinhas de feijão extrusadas e o caldo de feijão instantâneo.

Análise Microbiológica	Resultado
Contagem de <i>Bacillus cereus</i>	Negativo
Presença de <i>Salmonella sp</i> em 25g	Negativo
Contagem de Coliformes fecais a 45°C	Negativo
Contagem de <i>Estafilococos</i>	Negativo

Considerando-se os resultados obtidos das análises microbiológicas, o processamento térmico adequado, associado às boas condições da matéria-prima e manipulação adequada, contribuiu para a qualidade sanitária das farinhas de feijão extrusadas e do caldo de feijão elaborado.

5.6 POTENCIAL DE PRODUTOS PARA A UTILIZAÇÃO DA FARINHA EXTRUSADA DE FEIJÃO

De acordo com informações obtidas em supermercados da cidade, registradas na Tabela 22, constatou-se grande variedade de produtos que utilizam a farinha pré-gelatinizada de feijão em sua composição. Pode-se observar que a farinha de feijão está presente em maior ou menor proporção em muitos dos produtos listados, constituindo um ingrediente auxiliar como no caso de sopas, cremes, caldos e papinhas. A presença de farinha de feijão é bastante freqüente em produtos instantâneos, portanto a farinha pré-gelatinizada de feijão constitui-se naturalmente em uma boa alternativa de utilização.

Tabela 22. Produtos potenciais para a utilização da farinha pré-gelatinizada de feijão e que possuem farinha de feijão em suas formulações.

Produto	Marca	Variação	Descrição	Público-alvo	Peso (g)
Nuggets	Sadia	Frango com queijo, presunto e legumes	Empanados recheados congelados semi prontos	Jovens e adultos	375
Sopão de feijão com macarrão e bacon	Jurema	Feijão com macarrão e bacon	Sopa semi pronta com macarrão e feijão	Jovens e adultos	190
Tempero e Sabor	Maggi	Tempero para feijão, arroz e ovos	Tempero para feijão	Jovens e adultos	50
Caldinho de feijão com bacon	Knorr	Sopa instantânea	Mistura para o preparo instantâneo de sopa de feijão com bacon	Jovens e adultos	19
Sopa cremosa de feijão com bacon	Etti	Sopa instantânea	Mistura para o preparo instantâneo de sopa de feijão com bacon	Jovens e adultos	20
Caldo de feijoada	Knorr	Caldo de feijão	Preparado para caldo para feijoada	Jovens e adultos	57
Nissin Lámen	Nissin	Macarrão instantâneo	Massa alimentícia mista instantânea com tempero de feijão	Jovens e adultos	80
Molho instantâneo	Maggi	Molho instantâneo para carne	Mistura para molho	Jovens e adultos	45



Figura 19. Produtos que possuem farinha de feijão em suas formulações.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a extrusão afetou favoravelmente às propriedades tecnológicas, bioquímicas, conteúdo de fatores antinutricionais e digestibilidade da farinha de feijão.

Os resultados indicaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto aos componentes proteínas, lipídeos, carboidratos e cinzas, mas houve diferença no teor de umidade.

As farinhas extrusadas apresentaram um aumento do índice de absorção e na capacidade de formação de gel. Estas mudanças permitem a aplicação desta farinha no preparo de alimentos instantâneos. Por outro lado, as mesmas apresentaram menor solubilidade em água.

A qualidade tecnológica, também avaliada por meio do RVA, mostrou que a viscosidade inicial aumentou com a diminuição da umidade e temperatura e foi observado ausência de pico de viscosidade em todos os tratamentos. Os altos valores de quebra de viscosidade foram encontrados em temperaturas medianas e altos valores de umidade. Já a viscosidade final e tendência à retrogradação das farinhas extrusadas foram elevadas quando usadas temperaturas medianas e baixas umidades.

A extrusão foi eficaz na redução do conteúdo de inibidores de tripsina, o que associado às alterações sofridas pelas biomoléculas durante a extrusão, provocou aumento da digestibilidade *in vitro* de proteínas e amido, agregando maior valor e qualidade nutricional aos extrusados.

Os resultados das análises microbiológicas indicaram que todas as amostras de farinhas de feijão extrusadas e o caldo de feijão instantâneo elaborado apresentaram-se de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação.

Conclui-se, portanto, que a farinha de bandinha de feijão extrusada apresenta características comerciais com indicação na produção de produtos instantâneos, tais como ingrediente no preparo de sopas, caldos, papinhas, entre outros alimentos, com melhor valor nutricional e boas propriedades tecnológicas e bioquímicas. As melhores condições para obter produto instantâneo são: 18% umidade e 150 °C. Nestas condições podem-se produzir instantâneos com boas propriedades funcionais e tecnológicas.

7 PERSPECTIVAS

O foco deste trabalho foi determinar as condições de extrusão de farinha de feijão, de modo a atingir ótimos parâmetros tecnológicos e bioquímicos, passo importante para sua utilização como ingrediente para alimentos instantâneos. Avaliaram-se efeitos das diferentes condições de extrusão sobre as propriedades tecnológicas e bioquímicas. Entretanto, para um completo desenvolvimento do produto é necessária ainda a realização de análise sensorial dos produtos elaborados a partir das farinhas obtidas.

As sugestões abaixo são idéias que surgiram no decorrer do trabalho e por meio da análise dos resultados.

- Formular novos produtos
- Realizar análise sensorial de novos produtos instantâneos
- Incluir estes produtos no mercado
- Analisar a presença de oligossacarídeos tais como estaquiose e rafinose
- Analisar o efeito da ingestão dos produtos contendo farinha de feijão extrusada sobre saciedade.

REFERÊNCIAS

- AKESON, W. R.; STAHMANN, M. A. A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. **Journal of Nutrition**, Filadélfia, v. 83, p. 257-261, 1964.
- ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, Londres, v. 68, n. 2, p. 159-165. 2000.
- ALTAN, A.; MCCARTHY, K. L.; MASKAN, M. Effect of extrusion cooking on functional properties and *in vitro* starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, p. E77-E86, 2009.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4. ed. Washington, APHA, 2001.
- ANTON, A. A.; FULCHER, R. G.; ARNTFIELD, S. D. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. **Food Chemistry**, Londres, v. 113, n. 4, p. 989-996, 2009.
- ARNON, R. Papain. **Methods in Enzymology**, Nova Iorque, v. 19, p. 226-244, 1970.
- ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. **Característica de fubá extrusado**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 3 p. (Embrapa. Comunicado Técnico, 98).
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. AOAC, Washington DC, 2000.
- AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S.; ARRIECHE, L. S.; ALVES, F. V. Produto alimentício elaborado com farinha pré-gelatinizada de grãos quebrados de arroz. **Alimentos e Nutrição**, Arararaquara, v.14, n.1, p. 35-42, 2003.
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamento de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. v. 3, 317p.
- BATISTA, K. A.; PRUDÊNCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Changes in the biochemical and functional properties of the extruded hard-to-cook cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 794-799, 2010a.
- BATISTA, K. A.; PRUDÊNCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Changes in the functional properties and antinutritional factors of extruded hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Food Chemistry**, v. 75, n. 3, p. 286-290, 2010b.
- BERRIOS, J. J. Extrusion cooking of legumes: dry bean flours. **Encyclopedia of Agricultural and Biological Engineering**, Londres, v. 1, p.1-8, 2006.

BORBA, A. M. **Efeito de alguns parâmetros operacionais nas características físicas, físico-químicas e funcionais de extrusados na farinha de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n.12, de 02 de janeiro de 2001**: Regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, 02-01-2001, 54p. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 05 de março de 2010.

CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 586-591, 2008.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Massachusetts, v. 29, n. 1, p. 35-57, 1990.

CÁRDENAS, L. L. A. R. **Biodisponibilidade de zinco e ferro, valor nutricional e funcional de diferentes cultivares de feijão comum submetidos a tratamentos domésticos**. 2006. 189 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.

CARDOSO FILHO, N. **Efeito de algumas variáveis do processo de extrusão nas características funcionais e nutricionais da farinha de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1993. 128 F. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Campinas, São Paulo, 1993.

CARNEIRO, J. C. S.; MINIM, V. P. R.; SOUZA JÚNIOR, M. M.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, G. A. A. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.

CARREIRO, A.; GODOY, A.; LIMA, A. C.; TAVARES, C.; LOPES, D.; MAGALHÃES, V. A. **Alimentos extrusados**. São Paulo: Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Universidade de São Paulo, 2008. 14 p.

CARVALHO, M. R. B.; KIRSCHNIK, P. G.; PAIVA, K. C.; AIURA, F. S. Avaliação da atividade dos inibidores de tripsina após digestão enzimática em grãos de soja tratados termicamente. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 267-272, 2002.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Campinas, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chemistry**, Londres, v. 20, n. 4, p. 263-283, 1986.

CHIANG, B. Y.; JOHNSON, J. A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.54, n.3, p.436-443, 1977.

CLARKE, E. J.; WISEMAN, J. Developments in plant breeding for improved nutritional quality of soya beans. I. Protein and amino acid content. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 134, p. 111-124, 2005.

COFFMANN, C. W.; GARCIA, V. V. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. **Journal of Food Technology**, Oxford, v. 12, p. 473-484, 1977.

COLONNA, P.; BULEON, A.; MERCIER, C. Physically modified starch. In: GALLIARD, T. **Starch: properties and potential**. Chichester: John Wiley e Sons, 1987. cap.4, p.79-114.

COLONNA, P.; DOUBLER, J. L.; MELCION, J. P.; MONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 61, n. 6, p. 538-543, 1984.

CROCHET, P.; BEAUXIS-LAGRAVE, T.; NOEL, T. R.; PARKER, R.; RING, S. G. Starch crystal solubility and starch granule gelatinization. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 340, p. 107-113, 2005.

DING, O. B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 1, p. 283-289, 2005.

DONADEL, M. E.; FERREIRA, P. S. H. Propriedades funcionais de concentrado protéico de feijão envelhecido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 380-386, 1999.

DRAGO, S. R.; VELASCO-GONZÁLEZ, O. H.; TORRES, R. L.; GONZÁLES, R. J.; VALENCIA, M. E. Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from Phaseolus vulgaris bean flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, Nova Iorque, v.62, p. 43-48, 2007.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals, a Renewable Resource: theory and practice**. St. Paul: AACC, 1982. cap. 10, p. 165-216.

EL-HADY, E. A. A.; HABIBA, R. A. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 36, p. 285-293, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). **Trigo: extrusão**. Região Sul do Brasil. Passo Fundo - RS: EMBRAPA, 2006a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Trigo: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado**. 2006b. Disponível em: <<http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2006/pdf>> Acesso em: 12 out. 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org/site/567/default.aspx>>. Acesso em: 02 abril 2010.

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargil, 2001. v. 1, 224 p.

FELLOWS, P. Extrusion. In: FELLOWS, P. **Food processing technology: principles and practice**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2002. cap. 14, p. 294–308.

FILLI, K. B.; NKAMA, I. Hydration properties of extruded fura from millet and legumes. **British Food Journal**, Cambridge, v. 109, p. 68-80, 2007.

FROTA, K. M. G. **Efeito do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) e da proteína isolada no metabolismo lipídico em hamsters hipercolesterolemizados**. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O.; COSTA, N. M. B.; PIROZI, M. R. P. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Ceres**, Viçosa, v. 309, n. 53, p. 548-558, 2006.

GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. **Journal of Food Science**, Campinas, v.48, p.378-381, 1983.

GIAMI, S. Y. Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 18, p. 665-673, 2005.

GUILLAMÓN, E.; PEDROSA, M. M.; BURBANO, C.; CUADRADO, C.; SÁNCHEZ, M.C.; MUZQUIZ, M. The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. **Food Chemistry**, Londres, v. 107, p.68-74, 2008.

GUJSKA, E.; KHAN, K. High temperature extrusion effects on protein solubility and distribution in navy and pinto beans. **Journal of Food Science**, Campinas, v. 56, n. 4, p. 1013-1016, 1991.

GUJRAL, H. S.; SINGH, N.; SINGH, B. Extrusion behaviour of grits from flint and sweet corn. **Food Chemistry**, Londres, v. 74, n.1, p. 303-308, 2001.

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

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. **Journal of Cereal Science**, Londres, v. 43, p. 38-46, 2006.

HERNÁNDEZ-DÍAZ, J. R.; QUINTERO-RAMOS, A.; BARNARD, J.; BALANDRÁN-QUINTANA, R. R. Functional Properties of Extrudates Prepared with Blends of Wheat Flour/Pinto Bean Meal with Added Wheat Bran. **Food Science and Technology International**, Londres, v. 13, p. 301-308, 2007.

KHATTAB, R. Y.; ARNTFIELD, S. D.; NYACHOTI, C. M. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 42, p. 1107-1112, 2009.

KINSELLA, J. E. Functional properties of proteins in food: a survey. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Ranton, v. 7, p. 219-280, 1976.

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

LEONEL, M. Processamento de batata: fécula, flocos, produtos de extrusão. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE PROCESSAMENTO DE BATATAS, Pouso Alegre, Minas Gerais. **Anais...** Pouso Alegre: EPAMIG, 2005.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin-Phenol reagents. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 193, p. 265-275, 1951.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; LEITE, T. D.; FRANCO, C. M. L.; MISCHAN, M. M. Produção de farinha instantânea de mandioca: efeito das condições de extrusão sobre as propriedades térmicas e de pasta. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 231-238, 2009.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; JAIME, L.; KARANJA, C.; DOWNIE, A. J.; PARKER, M. L.; LOPEZ-ABREU, F. J.; MAINA, G.; ESTEBAM, R. M.; SMITH, A. C.; WALDRON, K. W. Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by extrusion cooking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, p. 1174-1182, 1999.

MARZO, F.; ALONSO, R.; URDANETA, E.; ARRICIBITA, F. J.; IBÁÑEZ, F. Nutritional quality of extruded kidney bean (*Phaseolus vulgaris*, L. var. Pinto) and its effects on growth and skeletal muscle nitrogen fractions in rats. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, p. 875-879, 2002.

MAURON, J. **The analysis of food proteins**: amino acid composition and nutritive value. IN: PORTER, J. W. G; ROLLS, B. A, (Eds). Proteins in human nutrition. London: Academic Press, p.139-154, 1973.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, p. 109-114, 2005.

MENDONÇA, C. V. C. E.; CORRÊA, A. D.; SANTOS, C. D.; MORAIS, A. R. Quantificação de polifenóis e digestibilidade protéica de famílias de feijoeiro comum. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 858-864, 2003.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 1780-1792, 2007.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, p. 426-428, 1959.

NABESHIMA, E. H. **Desenvolvimento de massas alimentícias instantâneas de arroz, pelo processo de extrusão termoplástica, utilizando farinhas quimicamente modificadas** Campinas. 2007. 112 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

NASCIMENTO, K. O.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Propriedades de pasta de farinhas de trigo-soja pré-cozidas por extrusão. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.18, n.4, p. 387-395, 2007.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4: instructions manual**. Warriewood, 1998.

NICOLETTI, A. M. **Enriquecimento nutricional de macarrão com uso de subprodutos agroindustriais de baixo custo**. 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

OLIVEIRA, A. P; ARAÚJO, J. S.; ALVES, E. U.; NORONHA, M. A. S.; CASSIMIRO, C. M.; MENDONÇA, F. G. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 81-84, março, 2001.

OLIVEIRA FILHO, J. H.; MANCINI, A. C. Additives and ingredients and their reflexes on the viscoamylografics properties of corn starch. In: VII BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOOD AND BEVERAGES. 2007, Lorena. **Resumos...** Lorena: Brazilian Meeting on Chemistry of Food and Beverages, 2007 p. 78-84.

PIERGIOVANNI, A. R.; GALASSO, I. Polymorphism of trypsin and chymotrypsin binding loops in Bowman-Birk from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Science**, Limerick, v. 166, p. 1525-1531, 2004.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; CRUZ, G. A. D. R.; MENDES, F. Q.; REZENDE, S. T.; MOREIRA, M. A. Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arquivos de Nutrição**, Araraquara, v.16, p. 157-162, 2005.

PROLLA, I. R., D. **Características físico-químicas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), e efeitos biológicos da fração fibra solúvel**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Toxicológica) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

REHMAN, Z.; SHAH, W. H. Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. **Food Chemistry**, Londres, v. 91, p. 327–331, 2005.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. N. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 225 – 230, 2008.

REIFSTECK, B. M.; JEON, I. J. Retention of volatile flavors in confections by extrusion processing. **Food Reviews International**, Nova Iorque, v. 16, n. 1, p. 435-452, 2000.

RIBEIRO, H. J. S. S. **Propriedades físico-químicas e funcionais de concentrado protéico de feijão comum preto, cv. Iapar 44, novo e envelhecido**. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2003.

RIBEIRO, H. J. S. S.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H.; MIYAGUI, D. T. Propriedades físicas e químicas de feijão comum preto, cultivar Iapar 44, após envelhecimento acelerado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, p. 165-169, 2005.

RIBEIRO, H. J. S. S.; PRUDENCIO, S. H.; MIYAGUI, D. T.; RIBEIRO, E. L. A. Caracterização de concentrado protéico de feijão comum preto, cultivar Iapar 44, novo e envelhecido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, p. 571-580, 2009.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, supl. 0, p. 39-45, 2003.

RIVAS-VEJA, M. E.; GOYTORTÚA-BORES, E.; EZQUERRA-BRAUER, J. M.; SALAZAR-GARCÍA, M. G.; CRUZ-SUÁREZ, L. E.; NOLASCO, H.; CIVERA-CERECEDO, R. Nutritional value of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) meals as ingredients in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). **Food Chemistry**, Londres, v. 97, p. 41-49, 2006.

ROCHA-GUZMÁN, N. E.; GALLEGOS-INFANTE, J. A.; GONZÁLEZ-LAREDO, R. F.; CASTILLO-ANTONIO, P. A.; DELGADO-LICON, E.; IBARRA-PÉREZ F. Functional properties of three common bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties stored under accelerated conditions followed by extrusion. **LWT-Food Science and Technology**, Londres, v. 36, p. 6-10, 2006.

RUIZ-RUIZ, J.; MARTINEZ-AYALA, A.; DRAGO, S.; GONZÁLEZ, R.; BATANCUR-ANCONA, D.; CHEL-GUERRERO, L. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. **Food Science and Technology**, Londres, v. 41, n. 10, p. 1799-1807, 2008.

SANDHU, K. S.; LIM, S. T. Digestibility of legume starches as influenced by their physical and structural properties. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 71, p.245-252, 2008.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. 1996. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1996.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas e alimentos protéicos: propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.

SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. Effect of processing on antinutrients and *in vitro* protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. **Food Chemistry**, Londres, v. 103, n. 1, p. 161-172, 2007.

SHOSHIMA, A. H. R.; TAVANO, O. L.; NEVES, V. A. Digestibilidade *in vitro* das proteínas do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) var. “Br-14 Mutalo”: efeito dos fatores antinutricionais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 8, p. 299-304, 2005.

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

SILVA JÚNIOR, E. A.; Critérios microbiológicos para interpretação de laudos. In: _____. **Manual de controle higiêncio-sanitário em alimentos**. 4. ed. São Paulo: Varela, 2001. cap. 39, p. 333 – 343.

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

SOARES, A. G. Consumo e qualidade nutritiva. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFGO, 1996. v. 2, p. 73-79.

SOUZA, M. L. **Processamento de cereais matinais extrusados de castanha-do-brasil com mandioca**. Campinas. 2003. 191 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p.24-30, 2000.

SHUKLA, T. P. Critical chemistry of extrusion processing of grains. **Cereal Foods World**. Minnesota, v. 43, n. 1, p. 43-44, 1998.

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. 413-428, 2009.

THARANATHAN, R. N.; MAHADEVAMMA, S. Grain legumes: a boon to human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 14, p. 507-518, 2003.

WANG, S. H. ; FERNANDES, M. S.; ASCHERI, J. L. R.; COSTA, S. A. J.; OLIVEIRA, M. F. Mingau semi-instantaneo de canjiquinha-soja (80:20) obtido pelo processo de extrusão. **Alimentos e Nutrição**, Brasil, v. 13, n. 1, p.49-67, 2002.

WANG, S. H.; ROCHA, G. O; NASCIMENTO T. P.; ASCHERI, J. L. R. Absorção de água e propriedades espumantes de farinhas extrusadas de trigo e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 26, n. 2, p. 475-481, 2006.

WANG, S. H.; ROCHA, G. O; NASCIMENTO T. P.; ASCHERI, J. L. R. Farinha de trigo e soja pré-cozida por extrusão para uso em croquete de carne. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 27, n.3, p. 572-578, 2007.

ZABIDI, M. A.; AZIZ, N. A. A. In vitro starch hydrolysis and estimated glycaemic index of bread substituted with different percentage of chempedak (*Artocarpus integer*) seed flour. **Food Chemistry**, Londres, v. 117, p. 64-68, 2009.

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

ANEXO A – Confirmação de submissão do artigo intitulado “Functional, biochemical and pasting properties of extruded bean (*Phaseolus vulgaris*) cotyledons

ANEXO B - Artigo submetido a Food Chemistry