

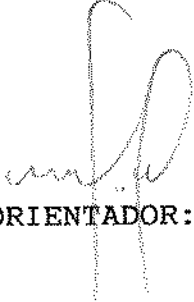
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

A INFLUÊNCIA DA EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA EM PROPRIEDADES
FUNCIONAIS E NUTRICIONAIS DE FARINHAS DE FEIJÃO E FARINHAS
MISTAS DE FEIJÃO COM ARROZ

Parceira

Este exemplar corresponde a redação final
da tese defendida por Caroline Joy
Steel e aprovada pela comissão julga-
dora em 07/02/94.

CAROLINE JOY [STEEL 32
ENG. DE ALIMENTOS


ORIENTADOR: PROF. DR. VALDEMIRO C. SGARBIERI ^{alder}

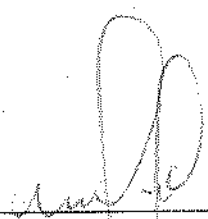
Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos
da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do
título de Mestre em Ciência da Nutrição

1994

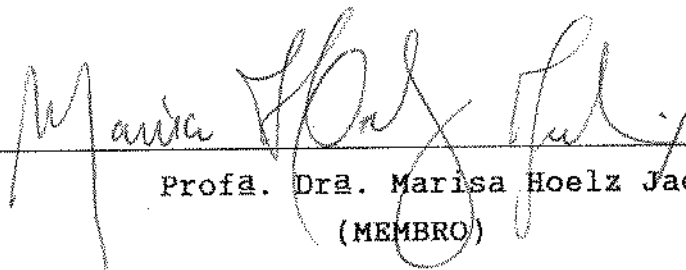
UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Arquivado

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Valdemiro Carlos Sgarbieri
(ORIENTADOR)



Prof.ª Dr.ª Marisa Hoelz Jackix
(MEMBRO)



Prof. Dr. Carlos Grosso
(MEMBRO)



Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida Azevedo Pereira da Silva
(MEMBRO)

Campinas, 07 de *Janeiro*

de 1994

Dedico a meus pais,
Daská e Jim, e
a meus irmãos

"Caminante,
Son tus huellas el camino y nada más
Caminante,
No hay camino, se hace camino al andar
Al andar, se hace camino
Y al volver la vista atrás
Se ve la senda que nunca
Se ha de volver a pisar"

Antonio Machado

AGRADECIMENTOS

A Deus, guia nos caminhos da vida.

A meus pais e irmãos, pelo amor e compreensão.

Ao Prof. Dr. Valdemiro C. Sgarbieri, pela orientação competente neste trabalho.

Ao Prof. Eduardo Bulisani, da Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), pela concessão da matéria-prima.

Ao pessoal da Seção de Desidratados do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) pelo empréstimo de equipamentos. Em especial, ao Plínio, pela ajuda.

A Coordenadoria para o Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

A Prof^a Marisa Jackix, pelo assessoramento técnico nos testes de extrusão.

Às Professoras Maria Amélia Chaib Moraes e Maria Helena Damásio, pelo auxílio na Análise Sensorial.

Aos Professores Ramón Hinojosa, Horácio Pezoa, Emílio Contreras, meus conterrâneos, e aos Professores Roberto Moretti e Daniel Barrera-Arellano, pelo apoio moral e profissional.

A todo o pessoal do Laboratório de Bioquímica Nutricional que me acompanhou nesta parte de minha caminhada: Liana, Cristina, D. Esmeralda, Márcio, Marie, Ricardo, Mabel, Ivan, Semíramis, Dorivaldo, Margarete.

Ao pessoal dos Laboratórios de Cereais e de Frutas.

Ao Valdeci e ao Nilo.

Ao pessoal da Biblioteca, em especial à D. Angelina, Creusa e Cláudia, e ao pessoal do Xerox.

A todos os demais funcionários e colegas da Faculdade de Engenharia de Alimentos.

Aos amigos Liliana Castro, Hilda Torín, César Amstalden, Myriam Salas e Maria Alice Garbin pela companhia, "bate-papos", conselhos, choros, ajuda com a tese, enfim... pela amizade de verdade.

Ao amigo, Hernán Medrano, pela confecção das figuras.

Às demais amizadas, sempre presentes...

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xii
SUMMARY.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 FEIJÃO.....	4
2.1.1 Composição centesimal.....	6
2.1.2 Composição e valor nutricional das proteí- nas do feijão.....	9
2.2 ARMAZENAMENTO.....	15
2.2.1 Deterioração das qualidades culinárias.....	15
2.2.2 Perda de valor nutricional.....	20
2.3 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA.....	24
2.3.1 Definição.....	24
2.3.2 Histórico.....	25
2.3.3 Classificação dos extrusores.....	27
2.3.4 Componentes do extrusor.....	29
2.3.5 Ingredientes.....	32
2.3.6 Efeitos da extrusão.....	36
2.3.7 Vantagens da extrusão.....	40
2.3.8 Extrusão de farinhas mistas.....	41
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.1 MATÉRIA-PRIMA.....	46
3.2 PROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA.....	46
3.3 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE EXTRUSÃO REALIZADOS	48
3.4 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E DO PRODUTO FINAL.....	50

3.4.1 Análises realizadas nos grãos.....	50
3.4.2 Análises realizadas nas farinhas antes e após o processamento.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.1 Caracterização da matéria-prima.....	61
4.2 Testes preliminares de extrusão.....	68
4.3 Testes definitivos de extrusão.....	71
5. CONCLUSÕES.....	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
Anexo I.....	102
Anexo II.....	103

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA

1	Ingesta de leguminosas (excluindo soja e amendoim) e respectivas contribuições calóricas e protéicas em países da América Latina.....	5
2	Composição centesimal de variedades e cultivares brasileiros de <i>Phaseolus vulgaris</i>	7
3	Produtos industrializados fabricados utilizando-se a tecnologia de extrusão no lugar de métodos convencionais.....	26
4	Classificação funcional dos extrusores.....	28
5	Condições de extrusão empregadas.....	48
6	Formulação da mistura salina utilizada para o preparo das dietas.....	55
7	Formulação da mistura vitamínica utilizada para o preparo das dietas.....	56
8	Composição das dietas utilizadas nos ensaios biológicos.....	57
9	Distribuição dos animais por tratamento, segundo os pesos individuais, valores médios e desvios padrão obtidos para cada tratamento...	58
10	Propriedades dos grãos de feijão, cultivar Carioca 80 s.h.....	61

TABELA

11	Granulometria das farinhas cruas utilizadas nas análises.....	65
12	Propriedades físico-químicas e funcionais das farinhas cruas.....	66
13	Características de viscosidade de pasta das farinhas cruas.....	67
14	Análise das farinhas extrusadas no 1º Experimento preliminar (Amostra 1, Condições I e II)	68
15	Características de viscosidade de pasta das farinhas extrusadas no 1º Experimento preliminar (Amostra 1, Condições I e II).....	69
16	Análise das farinhas extrusadas no 2º Experimento preliminar (Amostras 1 e 2, Condição II)	70
17	Composição centesimal, valor calórico e NDPCal% das amostras extrusadas.....	72
18	Composição centesimal das amostras extrusadas, em base seca.....	73
19	Índices de absorção de água e de solubilidade em água e atividade emulsificante das farinhas extrusadas.....	74
20	Características de viscosidade de pasta das farinhas extrusadas.....	76

TABELA

21	Intensidade do gosto amargo das amostras extrusadas (escala não-estruturada de 9cm; 0 = nenhum, 9 = excessivo).....	77
22	Nitrogênio ingerido, fecal, urinário, absorvido e retido pelos grupos de animais alimentados com as dietas experimentais e com a dieta padrão de caseína.....	78
23	Consumo de dieta e ganho de peso dos animais, em gramas, em 28 dias.....	79
24	Propriedades nutritivas das dietas preparadas com as amostras extrusadas e da dieta padrão de caseína.....	80
25	Perfil de aminoácidos das farinhas extrusadas	86

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA

1	Mecanismo de "feed-back" de ativação do pâncreas pela inibição da tripsina no lúmen intestinal.....	14
2	Geometria de um parafuso de extrusão.....	29
3	Seções funcionais de um típico extrusor de cozimento.....	30
4	Esquema de uma linha de produção de farinhas mistas.....	43
5	Fluxograma do processamento de farinhas mistas de feijão e arroz.....	47
6	Curvas de hidratação dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) variedade Carioca 80 s.h.	64
7	Curvas de crescimento dos ratos alimentados com as dietas teste e com a dieta padrão de caseína.....	84

RESUMO

Feijões recém-colhidos e feijões envelhecidos (estocados por mais de um ano), da variedade Carioca 80 s.h. (*Phaseolus vulgaris*), foram caracterizados com o objetivo de avaliar as diferenças existentes entre eles, notadamente aquelas referentes às propriedades funcionais (tempo de cocção, capacidade de hidratação dos grãos e análise sensorial) e aspectos nutricionais (atividades hemaglutinante e antitriptica).

Os grãos foram moídos e extrusados em extrusor de laboratório Brabender de rosca única. Através de experimentos preliminares de extrusão definiram-se as condições para a obtenção das farinhas extrusadas, objeto final deste estudo.

Os produtos finais: farinha extrusada de feijão recém-colhido, farinha extrusada de feijão envelhecido e farinhas extrusadas mistas de feijão recém-colhido com arroz e de feijão envelhecido com arroz, foram avaliados com relação à composição centesimal, propriedades funcionais (índices de absorção de água e de solubilidade em água, atividade emulsificante e viscosidade de pasta), características sensoriais e propriedades nutricionais (BN, Da, VBa, NPUa, PER corrigido, curvas de crescimento e balanço de aminoácidos).

O tempo de cocção, o sabor e a textura foram as propriedades mais afetadas pela estocagem dos grãos.

A extrusão das farinhas de feijão nos testes preliminares demonstrou que a extrusão elimina os problemas de textura e tempo de cozimento, mas persiste a diferença de gosto entre as farinhas extrusadas preparadas com feijão recém-colhido e com feijão estocado durante um período mínimo de 1 ano.

A extrusão de farinhas mistas de feijão (recém-colhido e estocado por período mínimo de 1 ano) com arroz, na proporção de 1:3 (P/P) mascarou o gosto amargo percebido nas farinhas de feijão, aumentou o índice de absorção de água e a viscosidade de pasta, melhorou o NDPCal% e o balanço de aminoácidos das farinhas extrusadas. Além disto, melhorou a qualidade protéica (BN, Da, PER, QEA e curvas de crescimento) e a palatabilidade das dietas preparadas com as farinhas extrusadas como fonte protéica.

Por outro lado, as farinhas extrusadas só de feijão apresentaram maior índice de solubilidade em água e maior atividade emulsificante que as farinhas mistas.

Nossos resultados indicaram que a extrusão é uma boa opção de processamento para feijões estocados por períodos maiores que 1 ano, com propriedades sensoriais e de cozimento deterioradas, e que a adição de arroz é benéfica para melhorar gosto e propriedades nutricionais das farinhas.

SUMMARY

Newly harvested beans and hardened beans (stored for more than a year) of the "Carioca 80 s.h." variety (*Phaseolus vulgaris*) were characterized in order to evaluate differences between them, mainly in terms of functional properties (cooking time, hydration capacity and sensory evaluation) and nutritive aspects (lectin and antitryptic activities).

The beans were ground and extruded in a single-screw Brabender laboratory extruder. Through preliminary extrusion experiments we established the final conditions to be used in the obtention of the final extruded flours, objects of this study.

The final products: newly harvested beans extruded flour, hardened beans extruded flour and extruded flours of newly harvested beans and rice blend and hardened beans and rice blend were evaluated with respect to chemical composition, functional properties (water absorption and solubility indices, emulsifying activity and paste viscosity), sensory characteristics and nutritional properties (NB, Da, BV_a, NPU_a, PER, growth curves and aminoacid balance).

Cooking time, taste and texture were the characteristics most affected by storage of whole beans.

Extrusion of bean flours in the preliminary experiments demonstrated that extrusion eliminates texture and cooking time problems, but difference in taste persists between extruded flours prepared with newly harvested beans and beans stored for more than a year.

Extrusion of blends of beans (newly-harvested and stored more than a year) and rice, 1:3 (W/W) masked the bitter taste perceived in the bean flours, increased water absorption index and paste viscosity, improved NDPCal% and amino acid balance of extruded flours. It also improved protein quality (NB, Da, PER and growth curves) and palatability of diets prepared with extruded flours as protein source.

On the other hand, extruded bean flours presented higher water solubility indices and emulsifying activities than extruded blends.

The results suggest that extrusion is a possible option for processing hardened beans, stored for over 1 year, and that the addition of rice is beneficial to improve taste and nutritive properties of extruded flours.

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é a leguminosa mais consumida no Brasil na forma de grão (50-70g per capita/dia). É uma boa fonte de proteína (18 a 27%) e de calorias (aprox. 350 kcal/100g). Proteínas e amido são os dois principais componentes dos grãos de feijão.

Em outros países da América Latina, Estados Unidos, Canadá e Europa, grande parte do consumo de feijão pela população é feita na forma industrializada, principalmente enlatada. No Brasil, muito pouco feijão é enlatado (feijoada) ou processado em outra forma para o consumo humano.

Quando estocado na forma de grãos, o feijão tende a perder suas qualidades culinárias, funcionais e nutritivas, torna-se duro para o cozimento, adquire textura desagradável e ocorrem alterações de sabor.

A extrusão termoplástica é definida como um processo contínuo onde o cisalhamento mecânico, combinado com o calor, gelatiniza o amido e desnatura proteínas, enquanto plastifica e reestrutura o material, criando novas formas e texturas.

O processo de extrusão termoplástica é muito versátil, sendo que, a partir do mesmo conjunto de ingredientes, pode-se produzir diversos produtos finais, com diferentes formas, texturas e aparências. Pode também ser empregado para controlar e inativar fatores antinutricionais e enzimas, pasteurizar e esterilizar alimentos. O tempo de processo é muito curto, permitindo elevada capacidade de produção com equipamento relativamente pequeno e menores perdas de nutrientes.

A extrusão termoplástica aplicada a alimentos teve início em meados da década de 30. Tais equipamentos eram utilizados para misturar e moldar pastas, onde nenhuma cocção estava envolvida. No início dos anos 50, diversos extrusores foram desenvolvidos para cozinhar e expandir misturas de cereais, legumes e subproduto animal para a produção de ração. A partir daí, pesquisadores desenvolveram produtos destinados ao consumo humano tais como "cereais matinais", "snack foods", farinha de soja pré-cozida, sopas e bebidas instantâneas e amidos pré-gelatinizados.

O envelhecimento do feijão em virtude do armazenamento leva à depreciação comercial do produto pela rejeição do consumidor no momento da compra. É possível que a extrusão termoplástica da farinha de feijão, que ao mesmo tempo produz a cocção com a desnaturação das proteínas, gelatinização do amido e texturização do produto, possa eliminar as diferenças detectadas pelos consumidores entre o feijão mais novo e o feijão velho (endurecido durante o armazenamento).

A proteína do feijão é de baixo valor nutritivo (deficiente em metionina) e deteriora-se ainda mais com o armazenamento, principalmente em função do maior tempo necessário para a cocção dos grãos. Entretanto, o feijão é rico em lisina, outro aminoácido essencial. A proteína do arroz tem baixo teor de lisina e quantidade maior de metionina. Devido a esta diferença na composição aminoacídica, a mistura de feijão com arroz resulta numa mistura protéica de valor nutritivo que supera a proteína do feijão e do arroz, isoladamente. Tendo isto em vista, pode-se tentar obter um produto mais nutritivo extrusando-se uma farinha mista.

O objetivo desta pesquisa foi estudar comparativamente as propriedades funcionais e nutritivas de farinhas de feijão e farinhas mistas (misturas de arroz e

feijão), utilizando-se feijão recém-colhido e feijão armazenado durante 1 ano, processadas por extrusão termoplástica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FEIJÃO

O feijão é uma leguminosa amplamente consumida pela população humana em grande parte do mundo. De acordo com Aykroyd e Doughty (1964), a família das leguminosas compreende cerca de 600 gêneros botânicos incluindo aproximadamente 13.000 espécies. Destas, menos de 20 possuem importância econômica e 12-15 contribuem em diferentes quantidades para a dieta humana.

Pesquisas indicam que o consumo de leguminosas é elevado em alguns países e que a quantidade e o tipo de leguminosa consumida varia consideravelmente em diferentes partes do mundo (SGARBIERI & GARRUTI, 1986). Por exemplo, espécies dos gêneros *Pisum* e *Vicia* são consumidas principalmente no Oriente Médio. Na África, espécies de *Dolichos*, *Vigna* e *Cajanus* são de maior importância, enquanto que nos países da América do Norte, Central e do Sul, *Phaseolus vulgaris* é a espécie mais consumida. Uma estimativa da ingesta de leguminosas e sua contribuição calórica e protéica diária na América Latina apresenta-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Ingesta de leguminosas (excluindo soja e amendoim) e respectivas contribuições calóricas e protéicas em países da América Latina

País	Ingesta (g/dia)	Calorias (kcal/dia)	Proteínas (g/dia)
Argentina	6,3	20	1,3
Bolívia	5,6	19	1,3
Brasil	64,4	220	14,8
Chile	27,1	92	5,8
Colômbia	14,4	38	2,6
Costa Rica	27,3	93	6,0
Equador	26,3	91	6,1
El Salvador	31,6	108	7,1
Guatemala	23,3	80	5,3
Honduras	29,9	102	6,6
México	54,7	208	12,0
Nicarágua	72,0	245	17,3
Panamá	24,0	82	5,2
Paraguai	30,6	105	7,1
Peru	26,2	91	5,8
Uruguai	9,0	28	1,8
Venezuela	29,6	100	6,5

Fonte: Food Balance Sheets 1960-1962 (FAO, 1966).

Como indica a Tabela 1, a contribuição calórica e protéica total dos feijões nesses países é muito significativa. A Nicarágua aparece como o maior consumidor, seguida pelo Brasil, México, Honduras e Venezuela.

Feijões constituem uma boa fonte de proteínas e carboidratos, contêm baixo teor de gorduras e uma quantidade moderada de fibras (MORAES & ANGELUCCI, 1971). Os feijões são um dos principais componentes da dieta do brasileiro. Devido ao baixo custo e a fatores culturais, seu uso é

amplamente difundido entre as populações rurais e operárias, sendo uma das principais fontes protéicas para estas populações (MORAES & ANGELUCCI, 1971).

Kaplan (1965), baseando-se em estudos arqueológicos, sugeriu que o feijão originou-se no continente americano, especificamente no sul dos Estados Unidos, México, América Central e norte da América do Sul, em particular, nas regiões de cultura Inca. Medidas baseadas em carbono radioativo indicam que a espécie *Phaseolus vulgaris* adaptou-se às práticas de cultivo e condições ecológicas da América Central há aproximadamente 7.000 anos, sendo uma das plantas cultivadas mais antigas da região. Foi introduzida na Europa no século XVI e rapidamente tornou-se uma cultura importante em várias regiões do mundo.

2.1.1 Composição centesimal

A contribuição percentual dos principais componentes dos feijões (*Phaseolus vulgaris*), determinada por alguns pesquisadores e citada por Sgarbieri (1989), apresenta-se na Tabela 2. Torna-se evidente que as sementes de *Phaseolus* são uma boa fonte de proteína e energia. A energia provém principalmente dos carboidratos, sendo amido o principal componente.

Tabela 2 - Composição centesimal de variedades e cultivares brasileiros de *Phaseolus vulgaris*

VARIETADE E/OU CULTIVAR	UMIDADE %	PROTEÍNA %	GORDURA %	CINZAS %	CARBOIDRATOS %	FIBRA %
Bico de ouro	10,7	21,00	0,77	2,30	55,22	4,90
Jalo	11,2	24,80	0,86	3,20	52,04	4,52
Goiano precoce	10,5	28,30	0,93	3,46	47,70	4,25
Mulatinho	11,3	23,21	1,67	3,58	53,38	4,76
Rico 23	11,3	23,91	1,72	3,75	49,45	4,81
Preto G1	11,7	21,50	0,48	3,54	55,50	4,32
Pintado	10,7	22,30	1,25	3,23	54,19	4,29
Chumbinho opaco	10,4	24,32	1,19	3,79	51,62	4,17
Rosinha G2	11,1	24,63	0,82	3,61	52,12	4,78
Roxão	11,1	23,50	0,35	3,39	53,58	5,09
Roxinho	11,4	21,60	1,93	4,04	56,42	4,08
Carioca	10,6	22,62	1,44	3,52	57,25	3,52
Aroana	-	29,00	1,32	4,12	57,40*	-
Cara suja	-	28,18	1,59	4,47	65,22*	-
Jalo	-	26,55	1,47	3,99	58,60*	-
Goiano precoce	-	26,77	1,25	3,89	64,10*	-
Carioca	-	23,01	1,35	3,67	69,71*	-
Piratã 1	-	27,39	1,28	4,54	67,45*	-
Iguaçu	-	27,22	1,31	4,75	60,70*	-
VALORES MÉDIOS	11,0	24,73	1,21	3,73	56,93	4,46
AMPLITUDE	10,4-11,7	21,00-29,00	0,35-1,93	2,30-4,75	47,70-69,71	3,52-5,09

*Determinados como equivalentes de dextrose após hidrólise ácida branda (expressos em base seca).

Fonte: Sgarbieri (1989)

Com base nos dados apresentados na Tabela 2, o teor protéico médio é de 24,73% e o de carboidratos, 56,93%, com uma energia total estimada de 337,5 kcal/100g de feijões secos. O teor médio de umidade dos feijões (Tabela 2) é de 11,0%, variando de 10,4 a 11,7%. Os feijões são geralmente colhidos com 20-25% de umidade. Para armazenagem e comercialização adequadas, a umidade deve ser reduzida a menos que 10%.

O conteúdo de gordura (lipídios totais) é geralmente baixo mas mostra uma variação considerável entre as variedades. Nos dados apresentados na Tabela 2, o conteúdo de gordura variou de 0,35 a 1,93%, sendo a média 1,21%. O conteúdo médio de cinzas é de 3,73%, variando de 2,30 a 4,75%. O teor médio de carboidratos é de 56,93%, variando de 47,70 a 69,71%. Moraes e Angelucci (1971), estudando 12 cultivares de feijões brasileiros, encontraram 34,0 a 44,7% de amido (média 39,3%); 5,20 a 8,67% de açúcares totais (média 6,14%); 3,52 a 5,09% de fibra (média 4,46%) e 5,63 a 12,70% de pentosanas (média 7,78%). As pentosanas são principalmente hemiceluloses que não compõe os carboidratos digeríveis e portanto devem ser incluídas como componentes das fibras dietéticas. A determinação de fibras pelo procedimento clássico (AOAC, 1975) possui pequeno significado nutricional, pois determina-se apenas celulose. Talvez uma estimativa mais significativa da fibra dietética seja o resíduo por detergente neutro (NDF, "neutral detergent fibre"), determinado segundo Van Soest e Wine (1967), e que contém celulose, hemicelulose e lignina, todos materiais não-digeríveis.

Os teores de ferro, cálcio, magnésio e fósforo de 12 variedades de feijão cultivadas no Brasil também foram reportados por Moraes e Angelucci (1971). Os valores médios encontrados foram de 3,2, 40, 210, e 1000 mg/100g, respectivamente. Como alimento de origem vegetal, pode-se considerar o feijão como sendo rico nestes minerais.

2.1.2 Composição e valor nutricional das proteínas do feijão

O valor nutricional de uma proteína depende de sua composição, digestibilidade e biodisponibilidade de aminoácidos essenciais.

Composição. A composição em aminoácidos do feijão (*Phaseolus vulgaris*) tem sido reportada por diversos pesquisadores citados por Sgarbieri (1989). Os pontos comuns e importantes encontrados em todas as pesquisas foram: quantidades limitantes de aminoácidos sulfurados (metionina, cisteína e cistina), concentrações relativamente baixas de triptofano e altos teores de lisina.

O conteúdo de aminoácidos essenciais em mg/g proteína, segundo Moraes e Angelucci (1971), é de 72-106 de lisina, 46-61 de treonina, 29-54 de valina, 3-18 de metionina, 28-49 de isoleucina, 33-118 de fenilalanina e 103-138 de triptofano. Estes resultados demonstram que alguns feijões brasileiros (*Phaseolus vulgaris*) contêm teores de lisina que poderiam suplementar a deficiência deste aminoácido em cereais. O feijão também é rico em treonina, mas os conteúdos de metionina, isoleucina, valina, triptofano e leucina encontram-se abaixo dos requerimentos da FAO (FAO, 1968).

Digestibilidade. Feijões crus da espécie *Phaseolus vulgaris* são tóxicos e somente devem ser consumidos depois de adequadamente cozidos. Mesmo em feijão cozido, a digestibilidade protéica é considerada baixa quando comparada à proteína animal de alta qualidade.

A baixa digestibilidade das proteínas de feijão é uma das principais causas de seu baixo valor nutritivo (SGARBIERI et alii, 1979). O tratamento térmico, apesar de inativar parcialmente os fatores antinutricionais presentes e aumentar a digestibilidade, não é suficiente para elevar

seus valores acima de 70%, muito inferior à digestibilidade apresentada por outras espécies de vegetais. Para feijões brasileiros cozidos, a digestibilidade atinge um valor médio de 65%, variando de 52 a 69%. A reduzida digestibilidade das proteínas de feijões deve-se a: a) presença de inibidores de proteases residuais, não inteiramente destruídos por cocção; b) presença de proteínas resistentes à ação enzimática, como uma proteína isolada do "black kidney bean", que representava 30% do total das proteínas e era extremamente resistente a hidrólise enzimática por pepsina, tripsina, quimotripsina, huraína, subtilisina, ficina e papaína, mesmo após tratamento térmico ou desnaturação com uréia (SEIDL et alii, 1969); c) ação de substâncias não-protéicas presentes nos feijões, como substâncias fenólicas (JAFFÉ, 1950), açúcares redutores que podem participar da reação de Maillard envolvendo também aminoácidos, fitatos e íons metálicos que podem reagir com resíduos laterais das cadeias das proteínas formando complexos que bloqueiam os sítios hidrolíticos, reduzindo a digestibilidade protéica.

Biodisponibilidade de Aminoácidos Essenciais. Outro fator importante que contribui para o baixo valor nutricional das proteínas de feijão é a baixa disponibilidade de alguns aminoácidos. A biodisponibilidade de aminoácidos é afetada por vários fatores como: digestibilidade protéica, estímulo a perdas endógenas, modificações químicas e físicas nas proteínas durante o armazenamento e preparação doméstica ou industrial dos alimentos. Os estudos sobre a biodisponibilidade de aminoácidos é limitada; entretanto, a biodisponibilidade de aminoácidos sulfurados tem sido matéria da atenção de vários pesquisadores pois estes são os aminoácidos limitantes em proteínas de feijão e suscetíveis a mudanças oxidativas durante o tratamento dos feijões antes do consumo (SGARBIERI, 1989).

O armazenamento e processamento dos feijões pode afetar de maneira negativa a biodisponibilidade de

aminoácidos sulfurados. Antes do consumo, os feijões podem ser submetidos a um ou mais dos seguintes tratamentos: a) armazenamento sob diversas condições ambientais; b) maceração em água ou diferentes soluções salinas; c) cozimento a pressão normal ou aumentada, e; d) fritura após o cozimento.

Toxicidade das Proteínas do Feijão. O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) contém várias proteínas a que se tem atribuído propriedades tóxicas ou antinutricionais. Lectinas (hemaglutininas), inibidores de tripsina e quimotripsina e inibidores de alfa-amilase são as que tem sido identificadas e estudadas em maior detalhe. Neste trabalho, daremos atenção às duas primeiras.

a) Lectinas (Hemaglutininas)

Na família das leguminosas, mais de 600 espécies e variedades apresentam lectinas.

As lectinas de *Phaseolus vulgaris* são um sistema complexo de isoglicoproteínas que aglutinam eritrócitos e leucócitos, e também apresentam ação estimulante sobre linfócitos, resultando em mudanças morfológicas e divisão celular (mitose).

Foi proposto, por Yachnin et alii (1972), que lectinas de "red kidney beans" são moléculas tetraméricas formadas por diferentes combinações de duas sub-unidades (L e R) que originam uma família de 5 isolectinas.

Um estudo detalhado da toxicidade de várias frações de lectinas de *Phaseolus vulgaris* foi realizado por Jaffé (1962). Ele encontrou grandes diferenças na toxicidade quando injetava-se as diferentes frações protéicas em camundongos, com uma correlação positiva entre toxicidade e

atividade hemaglutinante. Uma das frações mais tóxicas (DL50=500mg/kg peso corpóreo) é 0,0014 e 0,0025 vezes tão tóxica quanto as toxinas de ricina e de difteria, respectivamente. Esta fração, que ele denominou "phaseolotoxina A", inibiu o crescimento de ratos. Quando lectina ativa (não-desnaturada) estava presente na dieta havia uma diminuição pronunciada na absorção de nutrientes e na digestibilidade de proteínas e gorduras. A absorção de glicose diminuiu 50% nas alças intestinais de ratos aspergidas com soluções contendo lectinas. Jaffé et alii (1955), Jaffé e Camejo (1961) e Jaffé (1962), sugeriram que as lectinas também se combinam com as células da mucosa intestinal e microvilosidades, de maneira similar à que se combinam com eritrócitos, provocando uma interferência não-específica na absorção intestinal e utilização de nutrientes pelo rato.

Tem-se assumido que as lectinas são substâncias termolábeis, destruídas em condições domésticas e industriais de preparação de alimentos. Entretanto, existem alguns trabalhos (KORTE, 1972; ANONYMOUS, 1976) sobre a toxicidade de feijão para humanos, até em alimentos termoprocessados em que encontrou-se atividade hemaglutinante. Korte (1972) reportou que encontrou-se atividade hemaglutinante em 22% de misturas de *Phaseolus vulgaris* e milho preparadas e cozidas em vilas africanas. Nestes casos, os sinais de toxicidade, como vômitos, diarreia e má absorção foram frequentemente observados entre crianças que consumiram as misturas.

b) Inibidores de Tripsina

Existem dois tipos de inibidores de tripsina, em função da natureza do aminoácido localizado no sítio de ligação do inibidor. Um, contém um resíduo de lisina e o outro, um resíduo de arginina.

Algumas propriedades peculiares de inibidores de tripsina de *Phaseolus vulgaris* incluem sua composição em aminoácidos e sua grande resistência à desnaturação, sob certas condições.

Observou-se que inibidores de tripsina e quimotripsina são inativados com tratamento térmico muito curto e relativamente suave dos feijões macerados, por ex. 5 min. a 100°C (água em ebulição). Por outro lado, os inibidores isolados resistem a tratamento térmico drástico, como várias horas a 100°C em pH 5-6 (SGARBIERI et alii, 1982). Valores de pH alcalinos ou tratamento com agentes redutores de ligações dissulfeto facilitam a inativação térmica destes inibidores.

A maior parte das informações disponíveis sobre os efeitos nutricionais e fisiológicos de inibidores de proteases em animais experimentais vem de estudos com soja. A presença de inibidor de tripsina no intestino delgado aumenta a secreção exógena do pâncreas (KAYAMBASHI & LYMAN, 1969). Lyman e colaboradores, citados por Sgarbieri (1989), encontraram que a presença de inibidores de tripsina no intestino delgado aumentava a secreção pancreática de proteases, aparentemente num esforço para compensar a perda de proteases complexadas com os inibidores. Liener (1979) propôs um mecanismo de "feed-back" (Figura 1) que controla o nível de proteases no intestino delgado. A presença de tripsina ativa no intestino inibe o pâncreas a produzir mais protease. A inibição da tripsina estimula a mucosa a produzir colecistoquinina (CCK) que estimula o pâncreas a

produzir mais protease. A ingestão contínua de alimentos contendo inibidores de tripsina aumenta o tamanho do pâncreas devido a hiperplasia e hipertrofia das células pancreáticas (MADAR et alii, 1976), aparentemente porque deve trabalhar mais para fornecer o nível requerido de proteases.

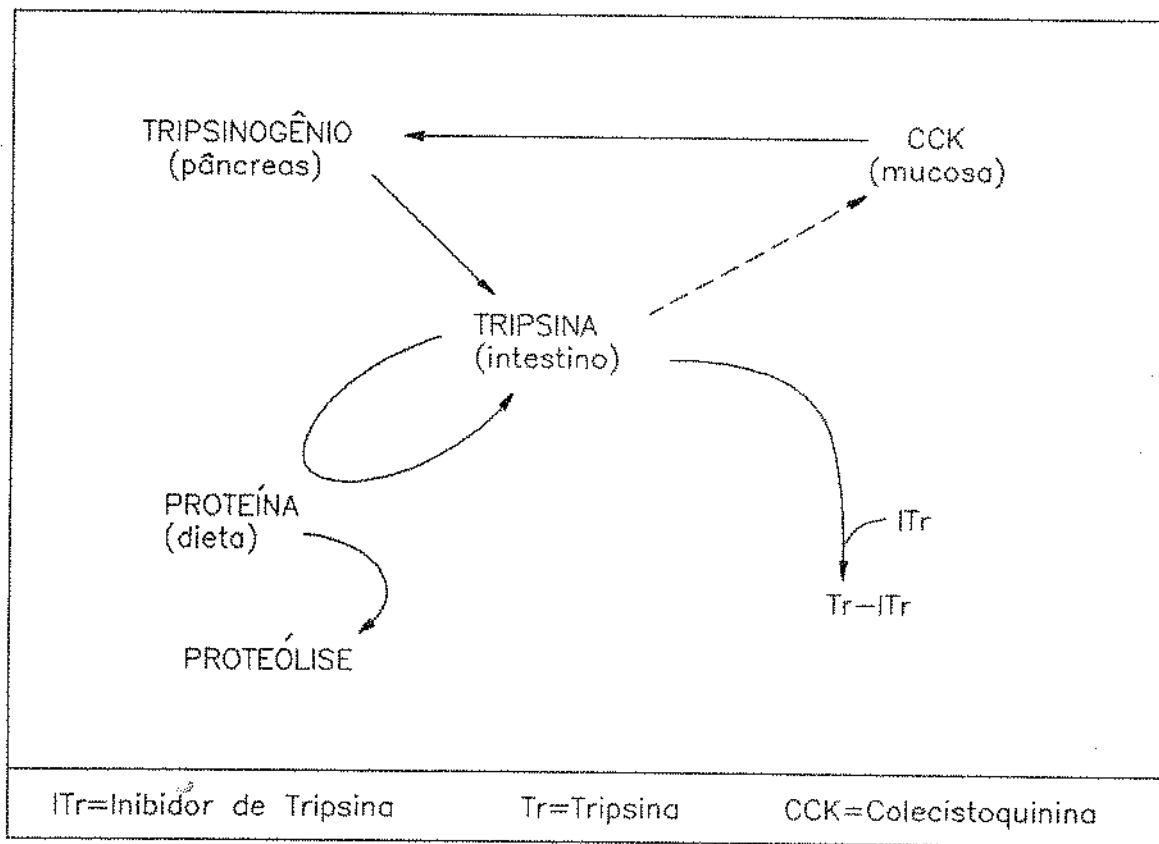


Figura 1 - Mecanismo de "feed-back" de ativação do pâncreas pela inibição da tripsina no lúmen intestinal

O cozimento de feijão visando a destruição de inibidores de proteases e lectinas não deixa de ter seu lado negativo, pois um cozimento excessivo (tempo e temperatura) diminui a digestibilidade e a disponibilidade de aminoácidos dos feijões (ANTUNES & SGARBIERI, 1979 e 1980).

2.2 ARMAZENAMENTO

Leguminosas, em geral, contêm teores relativamente elevados de umidade quando colhidas. Esta umidade deve ser removida antes do armazenamento. Em países em desenvolvimento, a exposição ao sol reduz o teor de umidade a aproximadamente 10% P/P.

Várias modificações que irão influenciar as propriedades culinárias das leguminosas ocorrem durante o armazenamento. Da mesma forma, o armazenamento pode ter efeitos diretos ou indiretos sobre seu valor nutricional.

Leguminosas estocadas sob condições adversas (i.e. temperatura e umidade relativa elevadas) exibem deterioração de suas qualidades. Estas condições também favorecem o desenvolvimento de fungos e a produção de compostos tóxicos que possuem efeitos adversos sobre os animais que os consomem. Condições de armazenamento inadequadas podem também alterar o valor nutricional e favorecer a infestação por insetos que resulta numa perda de matéria seca.

2.2.1 Deterioração das qualidades culinárias

Sabe-se bem que as sementes de *Phaseolus* sofrem deterioração durante o armazenamento, refletindo-se numa diminuição da capacidade de absorção de água (grãos "hardshell"), aumento do tempo de cozimento, alterações na cor, textura e sabor, que levam à perda de valor comercial. Estas mudanças foram bem documentadas por vários pesquisadores citados por Sgarbieri (1989). Descobertas comuns dos pesquisadores foram: a) sob certas condições de estocagem, feijões de alguns cultivares desenvolvem grãos "hardshell", resultando numa perda da capacidade de rehidratação. Este fenômeno é favorecido pela baixa umidade relativa da atmosfera no ambiente de armazenamento e o baixo

conteúdo de água nas sementes, mas também parece ser característico de certas variedades e cultivares; b) um endurecimento dos cotilédones com perda nas qualidades culinárias pode ocorrer. Este é um fenômeno irreversível e a taxa de seu desenvolvimento depende principalmente da temperatura de estocagem e da umidade das sementes ou da umidade relativa do ambiente de estocagem. Temperaturas e umidades elevadas aceleram o endurecimento.

Diversos estudos sugerem que feijões estocados em condições inadequadas de temperatura e umidade relativa requerem tempos de cozimento mais prolongados para atingirem teores de umidade do produto final similares a grãos estocados adequadamente (JONES & BOULTER, 1983a, 1983b; VINDIOLA et alii, 1986). A resistência ao cozimento apresentada por grãos de leguminosas possui duas causas principais. Uma são os grãos "hardshell", que possuem tegumento impermeável à água. A outra é o defeito "hard-to-cook" (duro de cozinhar), em que os cotilédones não se tornam macios com o cozimento, mesmo que as sementes absorvam água. O aparecimento de grãos "hardshell" é promovido quando o armazenamento é feito em ambientes de baixa umidade relativa e temperaturas elevadas, e é um fenômeno reversível. Por outro lado, a condição "hard-to-cook" é irreversível e acelerada por temperaturas e umidades relativas elevadas. Com o melhoramento genético de sementes, têm-se eliminado a maior parte das variedades que apresentam grãos "hardshell", mas a maioria das leguminosas permanece suscetível ao defeito "hard-to-cook".

Os mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento do defeito "hard-to-cook" em feijões estocados não estão completamente elucidados. Vindiola et alii (1986) sugeriram as seguintes três causas: 1) hidratação limitada da proteína intracelular, 2) insolubilização da pectina na lamela média por íons de cálcio e/ou magnésio após a ação combinada de pectina metil esterase e fitase, e 3) ligações cruzadas

entre compostos fenólicos ("lignificação") e/ou proteínas na lamela média. Entretanto, muita pesquisa ainda deve ser realizada nesta área.

Hentges et alii (1991) estudaram as alterações de determinados componentes físicos e químicos no desenvolvimento do defeito "hard-to-cook" em feijões. Sementes estocadas a 29°C, 65% U.R., necessitaram de tempos de cozimento prolongados; entretanto, sementes estocadas em outras condições (5°C, 30% U.R.; 29°C, 30% U.R.; e 5°C, 65% U.R.) mantiveram tempos de cozimento curtos e estáveis durante o período de estocagem. Nas condições que causaram o aumento do tempo de cozimento, diminuíram os fitatos, a atividade de fitase, a solubilidade da amilose, a pectina de alto teor de metoxilação e a solubilidade da proteína. Houve lixiviação de sólidos durante a hidratação e a pectina de baixo teor de metoxilação aumentou nas condições que aumentaram o tempo de cozimento. Estes resultados estão de acordo com a teoria de que o defeito "hard-to-cook" envolve interações entre fitatos, minerais e pectina. Entretanto não eliminam o possível papel da solubilidade do amido e das proteínas.

A baixa capacidade de absorção de água e o aparecimento de grãos de tegumento endurecido ("hardshell"), características de grãos envelhecidos, podem apresentar-se em maior ou menor grau, dependendo das condições de armazenamento. Em 6 meses de armazenagem do feijão Rosinha G2, Antunes (1979) citado por Amaya (1980), observou que não foram as condições mais extremas (37°C/76% U.R.), e sim as intermediárias (22-25°C/65-70% U.R.), as que ocasionaram maior queda na % de hidratação dos grãos macerados e maior % de grãos "hardshell". Por outro lado, o feijão estocado a 37°C/76% U.R. necessitou de um tempo de cocção muito maior para atingir uma textura aceitável (aproximadamente 300 minutos após 6 meses de estocagem).

O tempo de cozimento prolongado necessário para algumas variedades de grãos é certamente um empecilho para seu uso ou aceitação. Com o advento de alimentos de conveniência ou "quick-cooking" (de cozimento rápido) este problema tem se tornado ainda mais sério.

Burr et alii (1968) fizeram um estudo sistemático para avaliar objetivamente a influência do tempo, temperatura e teor de umidade no armazenamento de feijões e concluíram que grãos com menos de 18% de umidade, mantidos em condições frequentemente encontradas nos canais de distribuição (p. ex. 1 ano a 21°C) podem apresentar um aumento significativo no tempo de cocção. Por isto, aconselham o armazenamento de grãos com baixos a médios conteúdos de umidade e baixa temperatura, por um tempo não muito prolongado, para assegurar a qualidade do produto no consumo doméstico, na indústria (enlatados, p. ex.) e no mercado externo.

Dawson et alii (1952), citados por Muneta (1964), observaram que ervilhas estocadas por 1 ano a 24°C necessitaram maior tempo de cozimento que aquelas estocadas a 4°C.

Grãos recém-colhidos levaram 150 min., a pressão atmosférica, para amolecer. Amostras estocadas a 35°C, 85% U.R., durante 3 meses necessitaram de 170 min., enquanto que aquelas estocadas durante 6 meses estavam ainda duras mesmo após 210 min. de cozimento. Este fato possui implicações econômicas, pois os feijões tornam-se rejeitados pelos consumidores e o custo de cozimento é aumentado (KADAM et alii, 1989).

Morris et alii (1956), citados por Burr et alii (1968), utilizaram um tempo de cocção padronizado para cada variedade em estudo e reportaram que feijões com teores de umidade acima de 13% deterioraram-se significativamente,

tanto em textura como em sabor, após 6 meses a 25°C. Grãos estocados com menos de 10% de umidade mantiveram suas qualidades culinárias por 2 anos, quase tão bem quanto amostras controle estocadas a -23°C.

Os mesmos autores demonstraram que grãos com alto teor de umidade desenvolvem sabor estranho, acidez lipídica aumentada, e atividades de fosfatase e catalase diminuídas.

Um sabor ranço foi reportado por Muneta (1964) em feijões Michigan Michelite com alto teor de umidade. Morris e Wood (1956) também reportaram sabor ranço em feijões com altos teores de umidade estocados em altas temperaturas. Takayana, citado por Muneta (1964), encontrou que os lipídios em feijões são altamente insaturados. Feijões também contêm lipoxidase, e a ação desta enzima, junto com a auto-oxidação, pode ser a causa deste sabor ranço. É também possível que a oxidação e polimerização dos lipídios causem alterações na permeabilidade à água, afetando o tempo de cozimento (MUNETTA, 1964).

Altos teores de umidade dos grãos resultam em endurecimento dos mesmos com o aumento do tempo de armazenamento. O mecanismo de endurecimento dos grãos sob condições de estocagem inadequadas ainda não está completamente elucidado. Evidência disponível sugere que um aumento de proteína ligada ocorre no tegumento e na camada de aleurona. Entretanto, os cotilédones também perdem sua capacidade de absorver água devido a alterações nas substâncias pécticas e íons de cálcio, frequentemente desenvolvendo cor acinzentada sugerindo interações carboidrato-proteína (KADAM et alii, 1989).

Mattson (1946), citado por Kon (1968), reportou que o cozimento de diferentes variedades de ervilhas está relacionado aos conteúdos de ácido fítico e cálcio. Este pesquisador sugeriu que quando o conteúdo de ácido fítico é

baixo, a pectina na lamela média forma pectatos insolúveis de cálcio e de magnésio, deteriorando as qualidades culinárias.

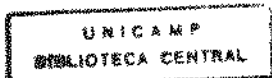
2.2.2 Perda de valor nutricional

Junto com os estudos sobre a perda de valor comercial, da deterioração das propriedades organolépticas e culinárias, alguns estudos tem sido realizados para avaliar a perda de valor nutricional de feijão estocado por diferentes períodos de tempo sob diversas condições.

Deve-se frisar que o tempo de cocção mais prolongado necessário para amolecer grãos estocados com altos teores de umidade pode reduzir seu valor nutricional. Lantz (1938), citado por Burr et alii (1968), reportou um aumento na destruição de tiamina com cocção prolongada, e a redução do valor biológico da proteína com tratamento térmico excessivo é fato bem estabelecido.

O cozimento excessivo necessário para amolecer os grãos diminui a qualidade protéica. Quedas no PER e no ganho de peso ocorrem com uma baixa disponibilidade protéica.

Existem estudos que demonstram que quando feijão preto (*Phaseolus vulgaris*) é cozido sob pressão, sua qualidade protéica é comprometida com tempos de cozimento abaixo de 10 e acima de 30 minutos (BRESSANI et alii, 1963). Os mesmos autores (BRESSANI et alii, 1963) demonstraram que há uma perda de lisina disponível quando o tempo de cozimento ultrapassa 30 min. Há perdas de lisina principalmente devido à ocorrência de reações do tipo Maillard. Tal observação é de grande importância pois feijões são aceitos como complementos protéicos naturais de cereais, fornecendo a lisina que falta nestes. Assim,



qualquer decréscimo na disponibilidade de lisina compromete sua qualidade como complemento protéico.

Molina et alii (1975) estudaram o efeito do armazenamento na qualidade protéica de feijões pretos quando submetidos a diferentes períodos de hidratação e de cozimento. Eles notaram um aumento do conteúdo de metionina e lisina disponível durante o armazenamento. Um aumento de lisina disponível em feijões pretos crus já foi reportado por outros autores (RUILOBA, 1973). Devido ao aumento de metionina, poderia esperar-se um aumento na qualidade protéica com o armazenamento, já que este aminoácido é considerado o mais limitante na proteína dos feijões (BRESSANI et alii, 1961). Mas, Molina et alii (1975), observaram que o armazenamento geralmente tinha efeitos negativos sobre a qualidade protéica dos feijões submetidos a vários processos (diversos tempos de hidratação e de cozimento).

Bressani (1975) e Rozo (1982), sugeriram que as perdas no valor nutricional que ocorrem sob condições adversas de estocagem são parcialmente devidas a interações entre proteínas e polifenóis como taninos. Sievwright e Shipe (1986) confirmaram este fenômeno em feijões pretos, acrescentando que o impacto dos taninos irá depender da idade dos grãos e das condições de estocagem. A formação dos complexos proteína-tanino pode envolver pontes de hidrogênio ou ligações covalentes. A interação é acelerada por polifenoloxidase.

Segundo Amaya (1980), a estocagem de feijão ocasionou perdas de lisina disponível perceptíveis desde os primeiros 4 meses de estocagem. O mesmo autor concluiu que o valor biológico da proteína sofre quedas drásticas em relação direta com o tempo de estocagem.

Molina et alii (1975) sugeriram que o armazenamento e processamento podem afetar bastante a disponibilidade de aminoácidos sulfurados.

Com a finalidade de verificar se é a perda de metionina disponível que causa decréscimo no valor biológico do feijão velho, realizaram-se ensaios biológicos nos quais o feijão estocado em condições normais de prateleira de laboratório (28°C, 70% U.R.) por até 18 meses foi suplementado com a quantidade de metionina necessária para atingir o nível do aminoácido no feijão novo. Os resultados mostraram uma recuperação do valor biológico mas não do consumo da dieta nem do aumento de peso do animal (AMAYA, 1980).

Por enquanto, esta perda de metionina durante a estocagem não tem sido explicada, embora se suspeite de um processo de auto-oxidação envolvendo os lípidos presentes no feijão (AMAYA, 1980).

Tem-se demonstrado que é necessária a hidratação dos grãos antes do cozimento para eliminar completamente os fatores antinutricionais presentes nos grãos crus (KAKADE & EVANS, 1966; LIENER, 1962). Molina et alii (1972, 1974) encontraram que para obter-se qualidade protéica máxima de grãos pretos, era necessário um tempo de cozimento muito mais curto para as amostras hidratadas que para as não-hidratadas. Além do mais, os mesmos autores (MOLINA et alii, 1972, 1974) ressaltaram que o armazenamento parece ter grande influência na escolha das condições de processamento ótimas baseadas em qualidade protéica.

Os efeitos negativos do armazenamento sob diversas condições de temperatura e umidade relativa em propriedades como capacidade de absorção de água, tempo de cozimento, textura, cor e sabor dos alimentos foram também reportados por Burr et alii (1968), Burr (1973), Hinchcliffe et alii

(1977) e Antunes e Sgarbieri (1979). A redução do PER, da digestibilidade protéica e da biodisponibilidade de aminoácidos sulfurados em variedades de *Phaseolus vulgaris* estocados sob diversas condições de temperatura e umidade relativa por períodos de até 8 meses também tem sido reportados (MOLINA et alii, 1975; ANTUNES & SGARBIERI, 1979; SIEVWRIGHT & SHIPE, 1986).

O efeito do armazenamento sob condições moderadas (20°C, 12% U.R.) na qualidade protéica de grãos de leguminosas cultivadas no Canadá foi determinado por Peace et alii (1988). Pouca variação ocorreu nos teores de aminoácidos e apenas pequenas alterações foram notadas no RNPR ("relative net protein ratio") e digestibilidade protéica verdadeira no período de estudo de 3 anos. Não houveram mudanças consistentes nos aminoácidos do plasma de ratos alimentados com as leguminosas armazenadas, mas os teores de metionina e triptofano no plasma eram mais baixos que os de ratos alimentados com caseína, refletindo deficiências destes aminoácidos na dieta.

2.3 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

2.3.1 Definição

A extrusão termoplástica de alimentos pode ser definida como o processo contínuo onde o atrito mecânico é combinado com o calor para gelatinizar o amido e desnaturar o material protéico, ao mesmo tempo em que o material é plastificado e reestruturado criando novas texturas e formatos (EL-DASH, 1982).

Já Russel (1988) define a extrusão como sendo um sistema único, proporcionando condições de alta temperatura e alta pressão que criam modificações químicas e físicas nas matérias alimentícias em velocidade acelerada.

Fichtali e van de Voort (1989) resumem a extrusão como sendo basicamente um processo contínuo de um reator com "HTST" ("high temperature, short time", ou seja, alta temperatura e curto tempo). O tempo de residência do alimento que passa pelo extrusor é função do desenho do parafuso e sua velocidade de rotação. Normalmente, o tempo de residência varia de 60 a 270 segundos, e a temperatura de descarga pode exceder 200°C. Evaporação da água não ocorre dentro do extrusor, mesmo a altas temperaturas, pois a pressão interna varia de 40 a 60 atm. A pressão elevada criada antes da matriz decresce bruscamente quando o produto emerge para o ambiente. Esta rápida queda de pressão provoca expansão do produto quando a temperatura de extrusão excede o ponto de ebulição normal da água, pois a água superaquecida evapora instantaneamente com a redução da pressão. A rápida perda de umidade na matriz resulta no resfriamento adiabático do sistema alimentar, atingindo-se uma temperatura de aproximadamente 80°C em poucos segundos, onde ocorre solidificação (HARPER, 1978).

2.3.2 Histórico

Acredita-se que a tecnologia da extrusão foi inventada por Joseph Baramat na Inglaterra em 1797. Ele utilizou um equipamento com pistão para fabricar canos de chumbo. Desde então o equipamento tem sofrido numerosas modificações e encontrado inúmeras aplicações nas indústrias plástica, farmacêutica e alimentícia (SWAMY & HANNA, 1990).

Os extrusores foram inicialmente aplicados ao processamento de alimentos em meados dos anos 30, quando o extrusor de parafuso único foi utilizado na produção contínua de massas (ROSSEN & MILLER, 1973). Estes extrusores de formação misturam semolina, água e outros ingredientes para formar uma massa uniforme que é forçada através de matrizes de diversas formas para criar os inúmeros tipos de massas existentes. A utilização de parafusos de passo fundo e baixa tensão de cisalhamento e de cilindros lisos permitem que haja pouco calor ou pré-cozimento envolvidos no processo (HARPER, 1978).

Desde então, a importância do processo de extrusão na indústria de alimentos tem aumentado consideravelmente. Os alimentos produzidos correntemente por extrusão incluem: cereais de desjejum, salgadinhos ("snacks"), confeitos, proteínas vegetais texturizadas, amidos pré-cozidos e modificados, molhos e sopas instantâneas, alimentos infantis, bases para bebidas, rações secas e semi-úmidas para animais, caseína, caseinato, etc. (Tabela 3).

Tabela 3 - Produtos industrializados fabricados utilizando-se a tecnologia de extrusão no lugar de métodos convencionais

Grupos	Exemplos
Farinhas modificadas de cereais	Alimentos infantis
Amidos quimicamente modificados	Amidos fosfatados
Proteínas vegetais texturizadas	Substitutos cárneos
Alimentos para animais	Agricultura, "pet foods"
Leite	Reações de caseinatos
Aromas	Aromas de carne, caramelo
Produtos de panificação	"Flat bread", "bread crumbs"
Cereais de desjejum	Grãos inflados, alimentos expandidos, flocos de cereais
Massas	Macarrão oriental e "fish noodles"
Bebidas	Cerveja, café, pós instantâneos, cacau em pó instantâneo
Confeitos	"Liquorice", gomas de fruta, chocolate, açúcar

Fonte: Swamy e Hanna (1990)

Muitos destes produtos são extrusados para pré-cozer, formar e texturizar. Eles podem ser secos ou congelados e transformar-se em alimentos instantâneos que podem ser preparados por hidratação, aquecimento, fritura, fervura, etc.

2.3.3 Classificação dos extrusores

Existem dois tipos básicos de extrusores de cozimento no mercado: de parafuso simples e de parafuso duplo. Os de parafuso duplo possuem algumas vantagens sobre os de parafuso simples: a) fluxo consistente do material alimentício plastificado, b) operacionalidade a baixa umidade da matéria-prima e c) mistura otimizada dos ingredientes. Devido a estas vantagens muitas indústrias de alimentos preferem utilizar extrusores de parafuso duplo (SWAMY & HANNA, 1990).

De maneira geral, os extrusores podem ser classificados em cinco categorias, dependendo da sua função (Tabela 4): 1) extrusores de cozimento de baixo cisalhamento, 2) extrusores "collet", 3) extrusores de formação com alta pressão, 4) extrusores de cozimento de alto cisalhamento e 5) extrusores de massas. Alimentos para animais ou alimentos de alta umidade são produzidos em extrusores de cozimento de baixo cisalhamento. Extrusores de massas produzem baixo cisalhamento e pouco ou nenhum cozimento durante o processo. Produtos pré-gelatinizados são pressurizados em extrusores de formação com alta pressão, passando por uma matriz específica para formar, cortar, etc. Em extrusores "collet" o cisalhamento e a dissipação mecânica de energia gelatinizam o amido sem aquecimento externo. Em extrusores de alto cisalhamento aplica-se aquecimento externo uniforme para o cozimento. As indústrias de alimentos escolhem um ou outro tipo de extrusor dependendo do tipo de produto que desejam fabricar (SWAMY & HANNA, 1990).

Tabela 4 - Classificação funcional dos extrusores

Classificação	Condições Operacionais		Produtos
	Umidade %	Temperatura °C	
Extrusor de massas	31	52	Macarrão
Extrusor de formação/ alta pressão	25	80	"Snacks" de 2ª geração
Extrusor de cozimento/ baixo cisalhamento	20-35	150	Produtos semi-úmidos, bases para sopas
Extrusor "collet"	12	200	"Snacks" expandidos
Extrusor de cozimento/ alto cisalhamento	20	180	Proteína vegetal textu- rizada, alimentos secos para animais

Fonte: Swamy e Hanna (1990)

2.3.4 Componentes do extrusor

O conhecimento das características significativas de um extrusor e seu relacionamento operacional, além da nomenclatura única da extrusão, são essenciais para descrever o processo. Uma seção típica de um parafuso de extrusor pode ser vista na Figura 2. Um extrusor consiste de um parafuso de Arquimedes que gira dentro de um cilindro. Ele difere de um transportador de rosca pois seu parafuso possui roscas mais rasas e existe um mecanismo que provoca compressão do alimento enquanto este se desloca do alimentador para a matriz (HARPER, 1978).

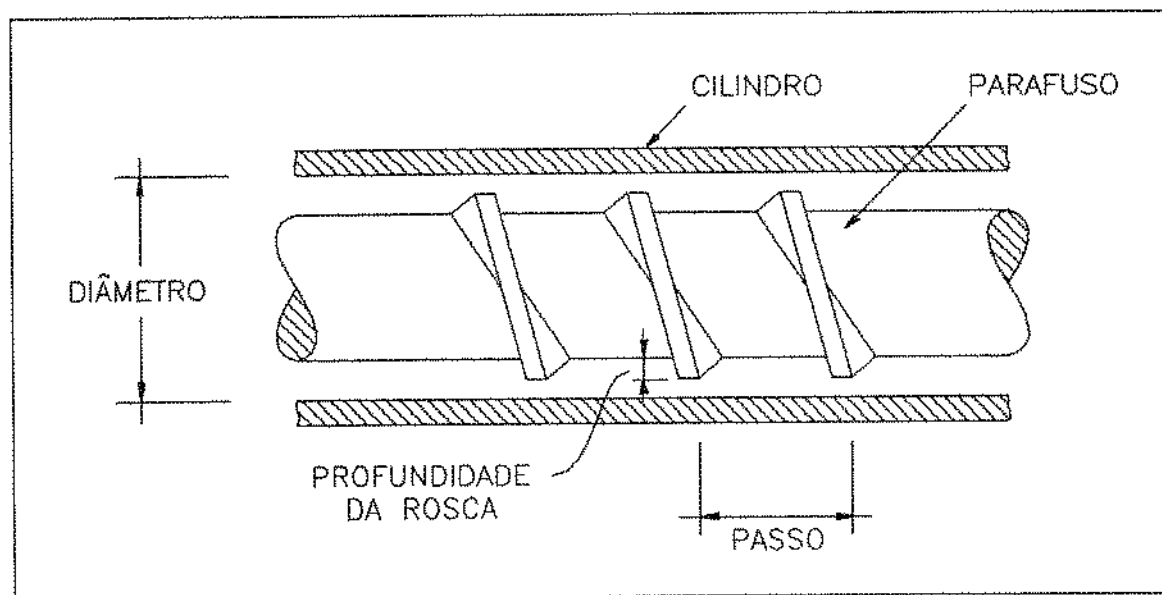


Figura 2 - Geometria de um parafuso de extrusão

O alimento, transformado numa massa uniforme, absorve calor por dissipação da energia mecânica aplicada sobre o parafuso. O calor também pode ser transferido por camisas de vapor ao redor do cilindro ou por aquecimento elétrico. Quando há necessidade de resfriamento utiliza-se camisa de água fria. O tempo de residência do alimento no

extrusor é de poucos segundos e varia com o desenho do parafuso e sua velocidade de rotação (VILELA, 1983).

As principais partes de um extrusor podem ser observadas na Figura 3.

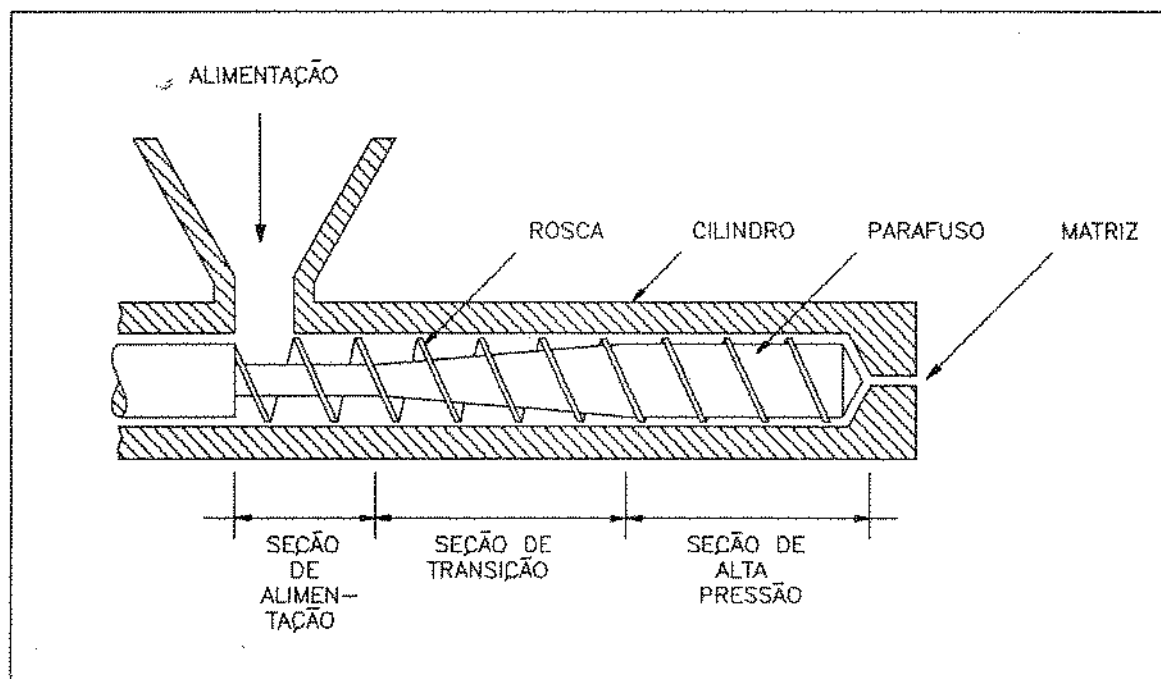


Figura 3 - Seções funcionais de um típico extrusor de cozimento

Pré-condicionador: o pré-condicionamento dos ingredientes permite seu cozimento parcial e umidificação uniforme antes da entrada no extrusor;

Alimentador: a alimentação no processo de extrusão deve ser mantida uniforme e contínua afim de permitir um bom funcionamento do equipamento e evitar cozimento irregular e produtos finais não-uniformes. Para isto os alimentadores devem possuir agitadores e roscas que mantenham um fluxo constante (VILELA, 1983).

Parafuso: o parafuso é a parte central de um extrusor de alimentos e pode ser tipicamente dividido em 3 partes: 1) seção de alimentação - geralmente possui rosca mais profunda ou maior passo, permitindo que os ingredientes caiam facilmente sobre o parafuso e comecem a ser transportados ao longo do cilindro; 2) seção de transição - seção do parafuso onde o material alimentício é compactado e transformado numa massa plástica; 3) seção de alta pressão - é talvez a parte mais importante do parafuso. Aqui a profundidade da rosca é menor e/ou a distância entre as roscas (passo) é diminuída. Sua função é homogeneizar o material e forçá-lo através da matriz a pressão constante.

Cilindro: o cilindro é a parte que envolve o parafuso e pode ter a temperatura controlada por vapor, água, resistências elétricas ou óleo. A seção de alimentação geralmente funciona com baixa temperatura, enquanto que nas seções finais, onde deve ocorrer a cocção (no caso de extrusores de cozimento), normalmente há aquecimento.

A superfície interna do cilindro pode ser ranhurada para aumentar a taxa de cisalhamento.

Matriz: a matriz de um extrusor serve para dar a forma e textura desejadas ao produto, e controlar a pressão e o atrito mecânico no extrusor. A matriz pode ter várias configurações. Geralmente consiste de múltiplos orifícios ou fendas situadas em um círculo. Uma placa perfurada pode ser colocada antes da matriz para aumentar a contrapressão no extrusor, assegurar uniformidade da pressão atrás da matriz, e reter alguma peça dura ou não cozida que poderia entupir a matriz. Após a matriz pode haver um cortador com velocidade ajustável com a velocidade de extrusão, para cortar o produto em pedaços uniformes (VILELA, 1983).

A grande variedade de teores de umidade (12-40%), matérias-primas, temperaturas de cozimento (80-200°C), e tempos de residência controláveis tornam o extrusor de

cozimento moderno um equipamento muito versátil (HARPER, 1978).

2.3.5 Ingredientes

A extrusão de alimentos tem se desenvolvido por um processo de "tentativa e erro". Sistemas alimentares são extremamente complexos devido a sua natureza multi-componente e à interação entre estes componentes. Para tornar o quadro ainda mais complexo, muitos componentes como amido e proteínas sofrem mudanças físicas devido à gelatinização e desnaturação, respectivamente.

Amidos: A gelatinização é um dos efeitos importantes da extrusão sobre os componentes amiláceos de alimentos. A conversão de amido cru em material cozido e digerível pela aplicação de umidade e calor é denominada gelatinização. Especificamente, água é absorvida e ligada à molécula de amido resultando em alterações na estrutura do grânulo de amido.

Durante o processo de extrusão pode também ocorrer clivagem das moléculas de amido (dextrinização). Em condições de temperaturas e taxas de cisalhamento elevadas a dextrinização é maior

Dois tipos de amidos são comumente utilizados em aplicações de extrusão: amidos não-modificados e amidos modificados por ácidos ou enzimas. Amido não-modificado tende a expandir com facilidade, dando ao produto final estrutura e textura. Amidos modificados expandem menos pois possuem moléculas mais curtas, produzindo estruturas com células menores e possibilitando controle da hidratação e retenção de óleo.

Os amidos têm diversas funções na extrusão de alimentos: a) controle de densidade: modificações químicas do amido geralmente levam a produtos extrusados mais densos; b) força: alguns amidos modificados podem aumentar a força e reduzir quebra em produtos expandidos; c) melhoria na vida-de-prateleira: amidos cerosos pré-gelatinizados levemente modificados ajudam a manter os produtos frescos; d) absorção de umidade: amidos cerosos reduzem a taxa de absorção de umidade em produtos extrusados, impedindo que cereais e alimentos para animais fiquem murchos rapidamente; e) sabor: amidos dão um sabor suave adequado para aromatização; f) retenção de água: dextrinas e amidos altamente modificados podem reduzir a atividade de água de alimentos semi-úmidos; g) ligação de gordura: amidos modificados ligam gordura reduzindo encolhimento em produtos cárneos.

Proteínas: Muitos materiais protéicos diferentes são utilizados na extrusão para obter-se características variadas no produto final.

Smith (1975, 1976), citado por Harper (1979), descreve o papel do glúten na extrusão de um alimento de conveniência baseado em trigo. Durante a extrusão, o glúten é hidratado e misturado, tornando-se elástico e extensível, e expandindo facilmente formando uma estrutura de inúmeras células de paredes finas.

Proteína de soja tem tido um uso mais extensivo na extrusão que proteínas de outras leguminosas ou oleaginosas devido a seu baixo custo, disponibilidade e propriedades funcionais variadas. A proteína de soja pode ser texturizada para produzir proteína vegetal texturizada (PVT). Pode também ser utilizada para aumentar o teor protéico de misturas com cereais e melhorar a qualidade protéica das misturas.

Outras proteínas adicionadas a produtos extrusados incluem sólidos de leite, proteínas de soro de leite, caseinato de sódio, gelatinas, e albumina de ovo. Estes materiais acrescentam componentes de sabor, ligam água, melhoram a estrutura do produto, e aumentam a incorporação de ar nos produtos finais (HARPER, 1979).

Óleos e gorduras: Óleos e gorduras adicionados a produtos extrusados tendem a enfraquecer a massa, reduzir a força do produto e aumentar sua plasticidade.

Emulsificantes: Geralmente são adicionados em níveis baixos (<0,5%) e podem afetar as características do miolo do produto, tamanho das células e densidade, e atuar como lubrificante na massa.

Modificadores de pH: A adição de sais ácidos (p. ex., cloreto e fosfatos de cálcio) ou básicos (p. ex., carbonato de cálcio) a materiais protéicos irá alterar significativamente características do produto extrusado como taxa de rehidratação, reologia, densidade, velocidade de secagem, textura e dureza.

Água: O conteúdo de umidade dos ingredientes é um dos principais meios de controle do processo de extrusão e das características do produto extrusado. Especificamente, a umidade dos ingredientes afetará a densidade, expansão, cozimento, rehidratação, gelatinização do amido, formação de complexos, fluxo do material no extrusor, etc. Umidade pode ser acrescentada aos ingredientes de diversas formas incluindo água, vapor, emulsões ou xaropes.

Açúcar: A adição de açúcar pode modificar o sabor, a cor e a textura de produtos extrusados. Mas cuidados devem ser tomados para que o material não se torne pegajoso e difícil de manusear. A adição de açúcares redutores possui efeitos negativos sobre a lisina disponível se ocorrer a reação de

Maillard, reduzindo a qualidade protéica do produto (HARPER, 1979).

Fibras: Vários alimentos extrusados como cereais de desjejum e "snacks" incluem fibras na sua formulação. A fibra dietética tem recebido muita atenção ultimamente devido a seu papel fisiológico envolvendo todo o trato gastrointestinal e o metabolismo de carboidratos e lipídios.

A extrusão altera as propriedades originais das fibras dietéticas, suas interações com outros ingredientes e sua solubilidade em água. As fibras também afetam as propriedades de expansão dos amidos. Um estudo recente demonstra que um nível de 2% de substituição por fibra nos ingredientes amiláceos de um cereal parece aumentar a expansão (SWAMY & HANNA, 1990).

Hidrocolóides: Gomas e outros espessantes (basicamente polissacarídeos) também podem ser utilizados em pequenas quantidades (<1%) para aumentar as propriedades de "liga" do produto. Os hidrocolóides também podem ser utilizados no material de revestimento aplicado aos extrusados.

Aromas e corantes: A aparência, sabor e cor atraem o consumidor a determinados produtos. Existem inúmeros aromas e corantes no mercado, tanto naturais como artificiais, possibilitando uma enorme gama de variações destes atributos sensoriais.

A adição de aromas é recomendada após a extrusão, sobre a superfície do produto, por meio de emulsões ou xaropes. Desta forma, fornecem ao produto final grande impacto de sabor. A adição aos ingredientes secos antes da extrusão simplificaria o processo, mas as altas temperaturas a que seriam submetidos durante a extrusão prejudicariam seu desempenho.

Os corantes são geralmente adicionados na forma de soluções. Na adição de corantes deve-se levar em conta a possível interação com certas proteínas e sais, e que a expansão do produto reduz a intensidade da cor (SWAMY & HANNA, 1990).

2.3.6 Efeitos da extrusão

A extrusão afeta os componentes e aditivos dos alimentos processados. Especificamente, reduz o teor de vitaminas, fatores anti-nutricionais como inibidores de tripsina e gossipol presentes em algumas matérias-primas cruas, biodisponibilidade de aminoácidos e contagem bacteriana. A extrusão também altera a natureza de muitos constituintes como amidos e proteínas mudando suas propriedades físicas, químicas e nutricionais. Por último, a extrusão modifica o sabor e a cor dos alimentos.

Vitaminas: Muitas vitaminas são termolábeis, sendo degradadas durante o tratamento térmico recebido na extrusão. Temperaturas elevadas aumentam a taxa de perda de vitaminas. Mas, mesmo que a temperatura de extrusão ultrapasse 177°C, o tempo de residência do produto a estas temperaturas é muito curto e geralmente bastante inferior a 10 segundos (de MUELENARE & BUZZARD, 1969). Estudos cinéticos de reações químicas demonstraram que mesmo produtos muito termolábeis podem ser submetidos a altas temperaturas sem grandes modificações químicas se o tempo de exposição é curto. Este é o caso das vitaminas no extrusor, tornando portanto as perdas na extrusão relativamente pequenas.

Quando o produto emerge do extrusor, pela matriz, a rápida queda na pressão e consequente vaporização instantânea de parte da água resultam no resfriamento do

produto ($T < 65^{\circ}\text{C}$), retardando reações químicas prejudiciais de redução de atividade vitamínica.

Cereais e leguminosas são fontes importantes de vitaminas do complexo B. A tiamina (vit. B_1) é bastante termolábil enquanto que a riboflavina (vit. B_2) é termoestável mas degrada-se com a luz. Beetner et alii (1974) estudaram a retenção de tiamina e riboflavina durante a extrusão. Variou-se a temperatura (149 a 193°C), umidade (13 a 16%), e velocidade do parafuso (75 a 125 rpm). Os resultados mostraram retenções médias de 54% e 92% para tiamina e riboflavina, respectivamente. A retenção de tiamina diminuiu com o aumento da temperatura e da velocidade do parafuso, e a retenção de riboflavina também diminuiu com o aumento da velocidade do parafuso. Niacina tem se mostrado estável durante o processo de extrusão.

A retenção de vitaminas A e C tem sido reportada por deMuelenare e Buzzard (1969) e Harper et alii (1977). Seus dados combinados indicam que aproximadamente 70% da vitamina C e 50 a 140% da vitamina A são retidas. Este último dado anômalo para a vitamina A atribuiu-se ao fato da extrusão aumentar a extratibilidade da vitamina A ou à formação de uma substância com cor idêntica à vitamina A no processo analítico. Velocidades do parafuso maiores aumentaram a retenção de vitamina A, indicando que tempos de residência mais prolongados, e não efeitos de cisalhamento, foram destrutivos para a vitamina A a 130°C .

Fatores anti-nutricionais: Uma das aplicações de extrusores "HTST" tem sido o tratamento térmico de soja crua para inativar lipoxídases e fatores anti-nutricionais, tornando o produto adequado para a alimentação animal ou uso direto em alimentação humana.

Tratamento térmico suficiente requer uma relação tempo/temperatura/umidade adequada. Mustakas et alii (1970)

observaram que a inativação do inibidor de tripsina em soja crua era função da umidade e tempo de retenção. Teores de umidade mais elevados requeriam menor tempo de residência do alimento no extrusor para alcançar os mesmos níveis de inativação. Seus resultados também indicam que temperaturas de 121°C eram significativamente menos eficazes que 135 a 149°C. Harper et alii (1977) demonstraram que temperaturas de 138°C eram necessárias para inativar 55 a 70% do inibidor de tripsina, temperaturas mais elevadas resultando em inativação substancialmente maior. De Muelenare e Buzzard (1969) mostraram claramente que a temperatura mais elevada só existe no extrusor durante um período muito curto, bem menor que o tempo de residência total do alimento no extrusor. Assim, uma compreensão clara da cinética de inativação de enzimas e inibidor de tripsina como função da umidade, temperatura e tempo, junto com a distribuição de temperatura/tempo de residência dentro do extrusor e pré-condicionador, é necessária antes de definir as condições ótimas de extrusão.

O tamanho de partícula da matéria-prima também afeta o tratamento térmico. De Muelenare e Buzzard (1969), citados por Harper (1979), mostraram que farinhas mais finas sofrem melhor cozimento.

Gossipol livre em sementes de algodão pigmentadas pode ser inativado pelo tratamento térmico na extrusão. Entretanto, a inativação ocorre numa reação entre gossipol e lisina, reduzindo a qualidade protéica.

Qualidade protéica: O extrusor tem sido utilizado para pré-cozer uma variedade de ingredientes, cereais e leguminosas, para facilitar seu preparo, desnaturar fatores anti-nutricionais, e melhorar a digestibilidade. Misturando cereais, geralmente limitantes em lisina, com leguminosas, limitantes em aminoácidos sulfurados, pode-se obter um produto com alta qualidade protéica. Smith (1969, 1976)

resumiu os PERs de várias misturas de farinhas. Na maioria dos casos, o PER corrigido é maior que 2,2.

Jansen (1976) e Jansen et alii (1978) sumarizaram a avaliação nutricional de uma grande variedade de farinhas mistas extrusadas, com pequena adição de umidade. Os PERs de misturas de milho/soja ou sorgo/soja (70:30) extrusadas a 171°C foram próximos ao da caseína. A extrusão conjunta dos ingredientes ou separada com posterior mistura não alterou os PERs das misturas resultantes. Tamanhos de partícula menores da matéria-prima melhorou os PERs, possivelmente porque o cozimento se torna mais eficaz no curto tempo de residência no extrusor.

O PER de soja extrusada tem sido medido em vários estudos. Se soja inteira é tratada a 137°C no processo de extrusão, mais de 50% do inibidor de tripsina é destruído, e antecipam-se PERs de 1,8 a 2,0, indicando um produto adequado como suplemento protéico para cereais ou produtos de panificação. Não se alcançaram valores mais elevados de PER pois a soja é deficiente em metionina.

Qualidade microbiológica: Sistemas "HTST" tem sido eficazes na destruição de microorganismos e fatores anti-nutricionais, minimizando-se o efeito negativo sobre importantes componentes nutricionais como vitaminas, aminoácidos essenciais e outros.

A extrusão tem sido eficaz na destruição daqueles organismos normalmente utilizados como indicadores de contaminação de alimentos ou aqueles relacionados a intoxicações alimentares. De Muelenare e Buzzard (1969) reportaram que a extrusão destrói completamente *E. coli* e reduz a contagem de aeróbicos a níveis abaixo de 10^4 /g e na maioria dos casos até menos que 10^3 /g. Num estudo qualitativo estes autores encontraram que coliformes, *Staphylococcus* e *Salmonella* eram também destruídos pelo

processo de extrusão. Mustakas et alii (1964) concluíram que a qualidade bacteriológica total de produtos extrusados de soja era excelente, e que a extrusão produz alimentos de alta qualidade sanitária.

Não existe trabalho definitivo sobre o efeito da extrusão na destruição de esporos que contaminam muitos grãos.

2.3.7 Vantagens da extrusão

Uma das principais vantagens do extrusor é a possibilidade de efetuar três funções ao mesmo tempo: misturar, cozinhar e estruturar o alimento (VILELA, 1983).

Segundo Smith (1969,1971), citado por Harper (1979), o processo de extrusão apresenta as seguintes vantagens: a) versatilidade: uma grande variedade de alimentos pode ser produzida no mesmo sistema básico; b) alta produtividade: o extrusor possui maior capacidade de produção que outros sistemas de cozimento/formação; c) baixo custo: requerimentos de mão-de-obra e espaço por unidade de produção são menores que para outros sistemas de cozimento/formação. Os cozedores por extrusão têm baixo custo pois convertem eficientemente a energia elétrica em térmica e requerem menos mão-de-obra e espaço por quilo de produto cozido que qualquer outro método de cocção (LORENZ & JANSEN, 1980); d) variedade de formas e texturas: extrusores podem produzir formas e texturas difíceis de obter utilizando-se outros métodos de produção. As características de expansão e crocância obtidas em "snacks" e cereais de desjejum são bons exemplos (HARPER, 1978); e) produtos de alta qualidade: o processo "HTST" minimiza a degradação de nutrientes e destrói a maioria dos microorganismos. Os processos "HTST" têm sido utilizados de maneira benéfica no tratamento térmico de alimentos (MUSTAKAS et alii, 1964)

citados por Harper (1978) para desnaturar enzimas que poderiam provocar rancidez ou outras deteriorações, inativar fatores anti-nutricionais como o inibidor de tripsina em soja, e destruir microorganismos presentes no alimento, esterilizando-o ou, pelo menos, reduzindo enormemente a carga microbiana. O pré-cozimento por processos "HTST" pode também melhorar a digestibilidade de alimentos, gelatinizando o amido e/ou desnaturando proteínas, e minimizando reações indesejáveis como a perda de lisina disponível por reação com açúcares redutores na reação de Maillard (JANSEN et alii, 1978; THOMPSON et alii, 1976) citados por Harper (1978) ou a redução na atividade de vitaminas; f) novos produtos: extrusores podem modificar proteínas vegetais, amidos e outros materiais alimentícios para fornecer novos produtos. Produtos de vários formatos, densidades e tamanhos, pós, flocos, grânulos podem ser produzidos por extrusão de matérias-primas de diversas origens. Estes produtos podem ser salgados, adoçados, aromatizados, coloridos, enriquecidos, cobertos, para uso direto em refeições ou como ingredientes para processadores (VILELA, 1983).

Uma área nova tem sido a texturização de proteínas vegetais para produzir uma estrutura fibrosa semelhante à carne. Neste caso, o extrusor aquece e orienta as moléculas de proteína na zona de alto cisalhamento que permite a formação de ligações cruzadas e fibras (AGUILERA et alii, 1976; SMITH & CROCO, 1975) citados por Harper (1978); e g) ausência de efluentes: não são produzidos efluentes de processo ou materiais perigosos.

2.3.8 Extrusão de farinhas mistas

A extrusão pode ser uma etapa importante na produção de cereais ou misturas de cereais com leguminosas pré-cozidas, frequentemente chamados de alimentos

formulados. Nestas aplicações, o extrusor tem sido utilizado no pré-cozimento de cereais para posterior mistura com concentrados protéicos e óleos, ou no pré-cozimento de farinhas mistas de cereais com leguminosas, produzindo um alimento formulado em uma única etapa de processamento.

Inicialmente, o pré-cozimento de cereais era realizado em secadores de rolos onde o grau de gelatinização era controlado pelo tamanho de partícula, teor de umidade, temperatura, pressão dos rolos, e tempo de exposição ao tratamento térmico. A extensa distribuição de alimentos formulados no programa "Food for Peace" (Alimentos para a Paz) aumentou a necessidade de produção destes alimentos e de controle das propriedades físicas. No caso de "CSM" ("corn/soy/milk" = milho/soja/leite), milho parcialmente gelatinizado é misturado a farinha de soja, leite em pó desnatado, vitaminas e minerais. O produto original precisava ser cozido com 10% de água por 1 a 5 minutos para obter-se a consistência de um mingau. Produtos subsequentes têm tido um maior grau de instantaneização, onde só se requer a adição de água para formar um mingau ou uma bebida. O milho tem sido a base de cereal predominante para estas misturas, mas trigo e sorgo são também ingredientes comuns (HARPER, 1979).

A Figura 4 mostra o esquema de uma linha de produção de farinhas mistas pré-cozidas. Os silos de matéria-prima alimentam um misturador nas proporções certas. O extrusor possui uma câmara de pré-condicionamento onde os ingredientes são misturados com vapor e/ou água. O extrusado úmido (20-30% de umidade) sai, caindo num secador/resfriador onde a umidade do produto é reduzida a 8-12%.

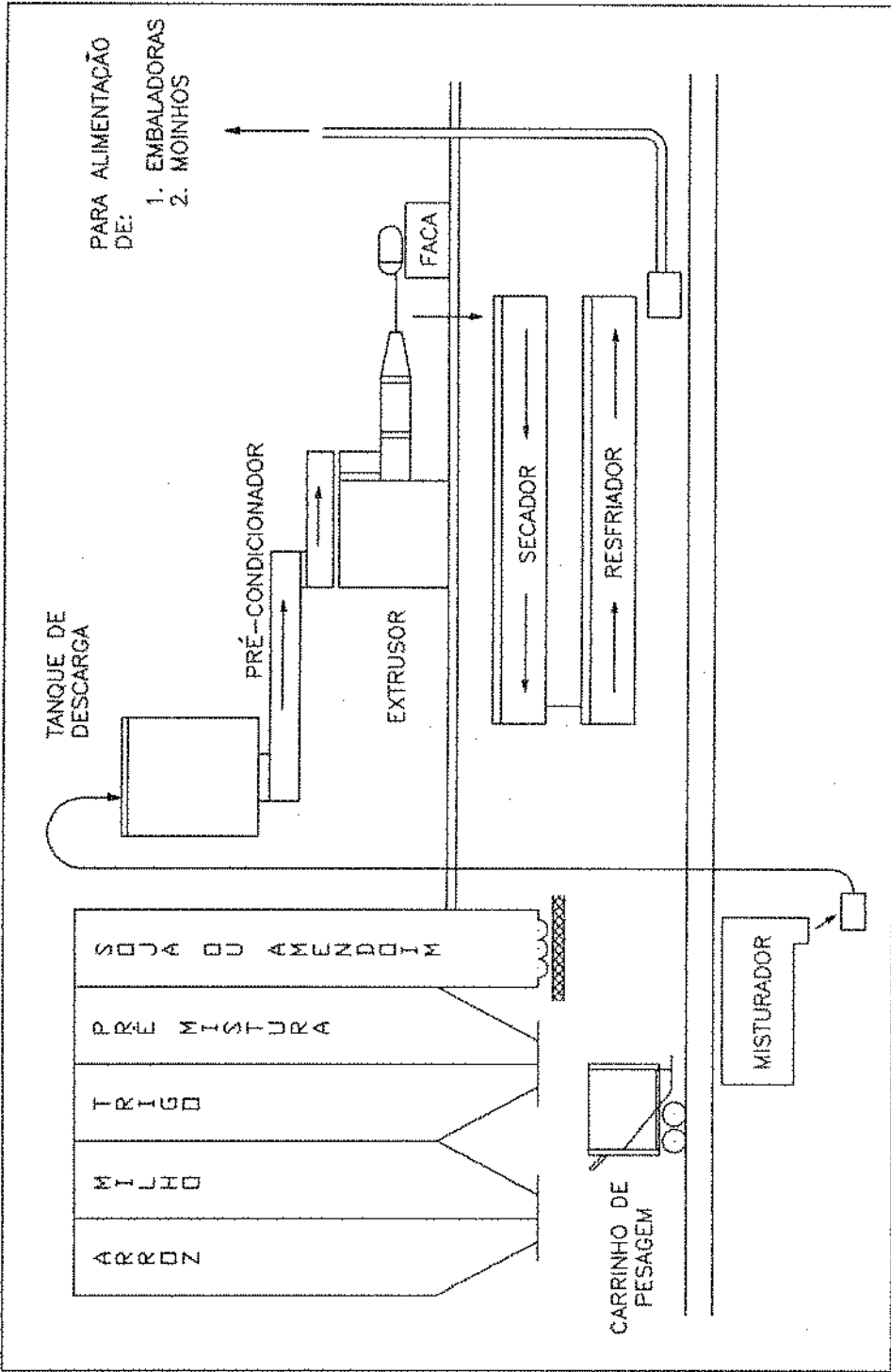


Figura 4 - Esquema de uma linha de produção de farinhas mistas

O pré-cozimento de alimentos possui as seguintes vantagens: reduz o consumo de gás necessário para o preparo do alimento e permite preparação rápida em instituições como escolas, creches, hospitais, etc. (HARPER, 1979).

Em 1972, o governo brasileiro convocou as indústrias nacionais de alimentos para fornecerem novos produtos que atendessem ao perfil nutricional definido pelo trabalho da CNAE (Campanha Nacional de Alimentação Escolar). As substituições foram feitas essencialmente com alimentos básicos, que apresentavam sérios problemas operacionais e de perdas.

Para diminuir o desperdício de alimentos "in natura", evitar maior número de mão-de-obra para o preparo de refeições e reduzir a área de estocagem nas cozinhas escolares ou centralizadas, muitos programas de alimentação utilizam produtos industrializados, liofilizados ou desidratados, para a refeição dos estudantes.

Segundo representantes da ABIN (Associação Brasileira da Indústria de Nutrição), os alimentos devem ter tratamento térmico que resulte em segurança biológica e durabilidade, máximo aproveitamento dos excedentes agrícolas e componentes que entre si resultem em equilíbrio nutricional permitindo também a adição de outros nutrientes. Com base nestes dados, eles recomendam os "alimentos nutricionais" que são compostos de diversas matérias-primas, com nutrientes balanceados para aumentar o rendimento biológico do alimento.

Esses alimentos minimizam custos e desperdícios, priorizam a utilização de matérias-primas de ampla produção nacional, como arroz, feijão, soja e açúcar, reduzem a dependência de importação e facilitam o preparo dos alimentos (VIEGAS, 1991).

Existe interesse considerável no uso do extrusor para produzir alimentos nutricionais, mas pouca informação detalhada sobre sua aplicação específica (HARPER, 1979).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

Sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) da variedade IAC Carioca 80 s.h. (sem halo), foram fornecidas pela Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Para o preparo das farinhas mistas utilizou-se arroz agulhinha obtido no comércio.

3.2 PROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA

Moagem dos grãos. As amostras foram moídas em moinho de facas TREU (63.202 Moinho Granulador). A moagem foi realizada em 2 etapas, utilizando-se peneiras de 3,2 e 0,76mm para o feijão e 1,5 e 0,76mm para o arroz.

Mistura. Para o preparo das farinhas mistas foram misturadas 3 partes de farinha de arroz com 1 parte de farinha de feijão.

Umidificação da farinha. Para acondicionar as farinhas até o teor de umidade desejado, borrifou-se água, sob agitação, na bateadeira SIAM-UTIL S/A (Tipo BA, nº 1556).

Extrusão. A extrusão foi realizada em extrusor de laboratório Brabender (Tipo 811202, nº 176503), de rosca única, com alimentador vertical em hélice com velocidade variável. O aquecimento neste extrusor é efetuado por blocos de alumínio fundido contendo os elementos de aquecimento elétrico, circundados por canais de ar de resfriamento. O controle e medidas da temperatura são feitos por termopares que controlam as zonas aquecidas do cilindro.

Secagem. As amostras extrusadas foram colocadas em estufa FANEM (Modelo 330), a 55°C, com circulação de ar durante 20h.

Moagem do produto extrusado. As amostras extrusadas foram bem quebradas e passadas por moinho de facas (Máquinas Renard, Mod. MFC-180-75-01) e depois pela unidade de quebra do moinho para trigo Brabender (moinho de rolos, modelo Quadrumat Senior).

Análises. As farinhas extrusadas foram submetidas a determinações químicas, físicas, sensoriais e nutricionais para sua caracterização.

Na Figura 5 pode observar-se o fluxograma do processo seguido para todos os experimentos.

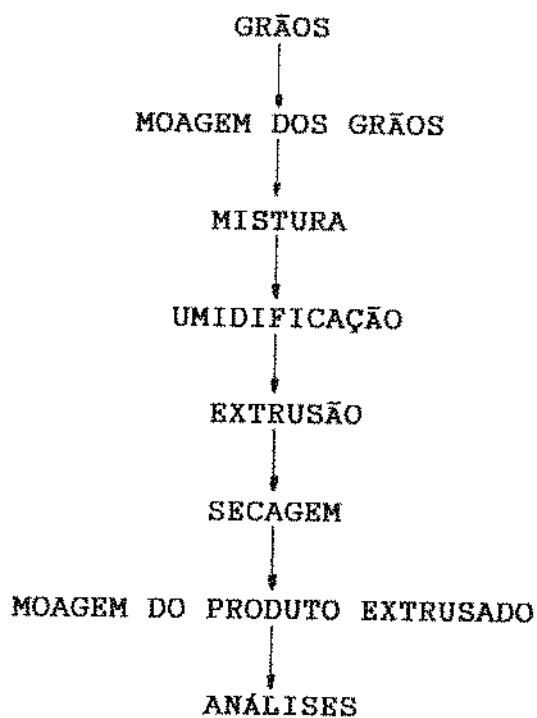


Figura 5 - Fluxograma do processamento de farinhas mistas de feijão e arroz

3.3 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE EXTRUSÃO REALIZADOS

Foram realizados 2 experimentos preliminares de extrusão antes de definir as condições para os testes definitivos.

A. 1º Experimento

Neste experimento utilizou-se feijão recentemente colhido (safra de 1988), identificado como amostra 1.

Realizou-se extrusão sob duas condições definidas a partir de dados fornecidos pela literatura, uma menos drástica (Condição I) e outra mais drástica (Condição II), para escolher a condição a ser utilizada nos testes definitivos.

As condições de extrusão empregadas apresentam-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Condições de extrusão empregadas

Constantes

Temperatura da 1ª zona = 80°C

Rotação da rosca = 100 rpm

Diâmetro da matriz = 3 mm

Variáveis	Condição I	Condição II
Taxa de compressão	3:1	4:1
Umidade (%)	22	26
Temperatura da 2ª e 3ª zonas ($T_2 = T_3$ °C)	180	190

B. 2º Experimento

No segundo experimento de extrusão utilizou-se feijão recém-colhido (safra de 1988), amostra 1, e feijão envelhecido durante 1 ano (safra de 1987), identificado como amostra 2.

Para os testes utilizou-se a Condição II (1º Experimento) exceto pela umidade da matéria-prima igual a 24,5%.

C. Testes definitivos de extrusão

Foram realizados testes com farinhas de feijão e farinhas mistas de feijão com arroz na proporção de 1:3 (feijão:arroz). Para estes testes foram preparadas quatro amostras identificadas por : A, feijão recém-colhido (safra de 1989); B, feijão da safra de 1987 com 2 anos de estocagem, 1 ano à temperatura ambiente e 1 ano em congelador a -18°C ; C, amostra contendo farinhas de feijão (safra de 1989) e de arroz nas proporções de 1 para 3 (P/P), respectivamente; D, amostra contendo feijão (safra de 1987) mais arroz nas proporções de 1 para 3 (P/P), respectivamente.

A Condição II utilizada nos testes preliminares foi definida como a mais apropriada para o processamento das farinhas extrusadas, principalmente devido à maior facilidade de extrusão. Abaixou-se ainda mais a umidade da matéria-prima para melhorar as condições técnicas do processo (Umidade = 18,5% para farinhas mistas e 21,5% para farinhas de feijão). A umidade ideal da farinha para extrusão foi determinada empiricamente. Enquanto borrifava-se água sobre a farinha para umidificá-la, pegava-se um pouco de farinha na mão, em certos intervalos, apertava-se e observava-se se desmoronava, mantinha a forma ou estava

muito pegajosa. O ponto ideal foi definido como o intermediário, onde a farinha mantinha a forma depois de apertada na mão, mas não estava muito pegajosa.

3.4 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E DO PRODUTO FINAL

3.4.1 Análises realizadas nos grãos

As seguintes análises foram realizadas para caracterizar a matéria-prima em grão, amostra 1 (feijão recém-colhido, safra 88) e amostra 2 (feijão envelhecido durante 1 ano, safra 87):

Determinação do tempo de cocção. Utilizou-se o método descrito por Burr (1968).

Velocidade e capacidade de rehidratação. As curvas de hidratação foram obtidas partindo-se de 10g de cada amostra em 100mL de água a temperatura ambiente, pesando-se os grãos em intervalos de 1 hora até peso constante.

Análise sensorial. a) Preparação das amostras: os grãos foram macerados em água numa proporção de 1:4 (grãos:água), P/P, durante 12h. O cozimento foi realizado em autoclave (10 minutos, 121°C) na própria água de maceração; b) Apresentação das amostras: para a prova não foi utilizado tempero. As amostras foram servidas a 40°C em béqueres codificados, em cabines com luz vermelha para que não houvesse interferência da cor; c) Avaliação: avaliou-se textura, gosto e aroma das amostras cozidas. Realizaram-se testes utilizando-se escala não-estruturada de 9cm para comparar as amostras (Anexo I). Os testes foram realizados com 8 provadores e 6 repetições. Os resultados foram submetidos a análise de variância e, quando diferentes, as

médias foram testadas quanto a significância estatística pelo teste de Tukey aos níveis de 1 e 5%.

3.4.2 Análises realizadas nas farinhas antes e após o processamento

Para avaliação das farinhas antes do processamento, o feijão foi selecionado e moído em moinho de facas (Máquinas Renard, Mod. MFC-180-75-01) com peneira de orifícios de 2,8mm de diâmetro, e moinho Brabender para trigo, tipo Quadrumat Senior (unidades de quebra e de redução). A farinha obtida desta forma ainda não estava suficientemente homogênea para realização das análises, sendo submetida a nova moagem em moinho de facas Universalmuhle M-20.

As farinhas extrusadas avaliadas foram obtidas segundo o processamento já descrito.

Propriedades funcionais:

Classificação granulométrica. Foi realizada em peneirador vibratório Produtest, com peneiras de 590, 420, 297, 210, 149 e 105 micra. A análise foi feita com 100g de amostra, 15 minutos de vibração e reostato na posição 5.

Capacidade de absorção e retenção de água e determinação do teor de sólidos solúveis em água. Segundo método descrito por Anderson et alii (1969).

Viscosidade de pasta. Utilizou-se o método 22-10 preconizado pela AACC (1976).

Atividade emulsificante. Adaptação do método descrito por Dench et alii (1981). 5,0g de amostra foram suspensos em

40mL solução NaCl 0,5M. Misturou-se por 15 min. e acertou-se o volume para 50 mL. Adicionou-se 50 mL de óleo de soja e misturou-se em homogeneizador Janke & Kunkel, Ultra Turrax, em velocidade máxima por 3 min. A emulsão foi dividida em dois tubos de centrifuga de 50 mL e centrifugada a 1.300 x g por 5 min.

$$\text{Atividade emulsificante} = \frac{h \text{ emuls.}}{h \text{ total}} \times 100$$

onde:

h emuls. = altura da camada emulsificada

h total = altura total do fluido

Análise sensorial. a) Preparação das amostras: as amostras foram preparadas com 500mL de água, 35g de farinha extrusada e 0,5% sal (2,7g) e levadas até ebulição; b) Apresentação: as amostras foram servidas a 40°C em béqueres codificados, em cabines com luz vermelha; c) Avaliação: realizaram-se testes de escala não-estruturada de 9cm para comparar textura, gosto e aroma das amostras extrusadas.

Na farinha obtida nos testes definitivos de extrusão optou-se por avaliar apenas a intensidade de gosto amargo detectado em cada amostra através de escala não-estruturada de 9cm (Anexo II). Foram utilizadas 4 amostras, 12 provadores e 3 repetições. Os resultados foram submetidos a análise de variância e, quando diferentes, as médias foram testadas quanto à significância estatística pelo teste de Tukey aos níveis de 1 e 5%.

Composição centesimal:

Determinação de umidade da farinha. Foi realizada pelo método 44-15A da AACC (1976). Determinou-se também por este método a umidade do produto recém-extrusado.

Cinzas. Segundo o método 08-01 da AACC (1976).

Gordura. Segundo o método descrito por Bligh e Dyer (1959).

Proteína bruta. Determinada pelo método de Kjeldahl (semi-micro), multiplicando-se os teores de nitrogênio obtidos pelo fator de conversão 6,25.

Solubilidade da proteína em água e NaCl 0,3N. Foi realizada extração durante 2h, sob agitação, na proporção de 1:40 (farinha:água destilada ou solução NaCl 0,3N). Centrifugou-se a 8000 x g por 10 minutos. Determinou-se proteína do extrato por método de Kjeldahl (semi-micro).

Carboidratos. Determinados na composição centesimal por diferença.

Valor calórico e NDPCal%. Foram calculados a partir dos dados de composição centesimal, considerando-se 4 kcal/g de carboidratos e de proteínas e 9 kcal/g de gordura.

O valor calórico é fornecido em kcal/100g do produto.

$$\text{NDPCal\%} = \frac{\text{Calorias fornecidas pelas prot. do produto} \times \text{NPU}}{\text{Calorias totais}}$$

Propriedades nutricionais:

Atividade antitriptica. Determinada segundo Kakade, Simons e Liener (1969), usando solução de BAPNA (n-benzoyl-DL-arginine-4 nitroanilide hydrochloride), concentração 0,3g/L em tampão tris-hidroxietil aminoetano, como substrato.

Atividade hemaglutinante. Determinada segundo Junqueira e Sgarbieri (1981).

Determinação de aminoácidos. Segundo o método descrito por Blackburn (1968).

Ensaio biológico. a) Preparo das dietas: as dietas foram preparadas para conter 10% de proteína bruta, 7% de lipídios, 4% de mistura mineral e 2% de mistura vitamínica para fortificação da dieta. O teor de lípidos e de cinzas das fontes protéicas foi considerado para a formulação das dietas. Desta forma, foi acrescentado óleo vegetal (de soja) para completar 7% e mistura salina para completar 4%. A mistura salina e a mistura vitamínica estão apresentadas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. As dietas foram acrescentada uma mistura de carboidratos, composta por amido de milho ("Maizena") e açúcar refinado ("União"), numa proporção de 3:1 (P/P), de forma que as dietas apresentaram-se isocalóricas e isoprotéicas.

Foi preparada também uma dieta padrão, cuja fonte protéica utilizada foi caseína (90,40% de pureza), de forma que sua composição centesimal não diferisse das dietas teste.

A composição das dietas pode ser vista na Tabela 8.

Após o preparo das dietas, foram determinados os teores reais de proteína bruta das mesmas, pelo método de Kjeldahl (semi-micro).

Tabela 6 - Formulação da mistura salina* utilizada para o preparo das dietas

Componente	Fórmula	Porcentagem
Carbonato de cálcio	CaCO ₃	38,14
Bifosfato de potássio	KH ₂ PO ₄	38,90
Cloreto de sódio	NaCl	13,93
Sulfato de magnésio	MgSO ₄	5,73
Sulfato ferroso	FeSO ₄ . 7H ₂ O	2,70
Sulfato de manganês	MnSO ₄ . H ₂ O	0,40
Sulfato de zinco	ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0,05
Sulfato de cobre	CuSO ₄ . 5H ₂ O	0,04
Cloreto de cobalto	CoCl ₂ . 6H ₂ O	0,002
Iodeto de potássio	KI	0,079

* Conforme AOAC (1975)

Tabela 7 - Formulação da mistura vitamínica* utilizada para o preparo das dietas

Componente	Porcentagem
Concentrado de vitamina A (200.000 UI/g)	2,948
Concentrado de vitamina D (400.000 UI/g)	0,163
Alfa-tocoferol	3,276
Ácido ascórbico	29,486
Inositol	3,276
Cloreto de colina	49,144
Menadiona	1,474
Ácido p-aminobenzóico	3,276
Niacina	2,948
Riboflavina	0,655
Hidrocloreto de piridoxina	0,655
Hidrocloreto de tiamina	0,655
Pantotenato de cálcio	1,965
Biotina	0,013
Ácido fólico	0,058
Vitamina B ₁₂	0,001

*Conforme Nutritional Biochemicals Corporation (1977/78)

Tabela 8 - Composição das dietas utilizadas nos ensaios biológicos

Componente	Dieta			Padrão (g)
	A (g)	B (g)	C (g)	
Feijão 89 extrusado	443,3	-	-	-
Feijão 87 extrusado	-	485,0	-	-
Arroz + feijão 89 extrusado	-	-	796,2	-
Arroz + feijão 87 extrusado	-	-	-	812,3
Caseína	-	-	-	110,6
Óleo vegetal*	60,2	59,8	60,8	70,0
Mistura salina**	22,7	21,9	29,8	40,0
Mistura vitamínica*	20,0	20,0	20,0	20,0
Carboidratos [§] (q.s.p.)	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0

* Óleo de soja

** AOAC (1975)

§ NBC (1977/78)

¶ Amido de milho "Maizena" e açúcar refinado "União", 3:1 (P/P)

b) Determinação dos indicadores de qualidade protéica: os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio Biológicos da Faculdade de Engenharia de Alimentos. Um total de 25 ratos machos foi distribuído em 5 grupos experimentais. Para que fossem distribuídos entre os tratamentos de forma que as médias de peso não diferissem, foi empregada a distribuição dos pesos por ordem decrescente em lotes de 5 animais (correspondente ao número de tratamentos). Assim, para compor cada grupo (referente a um tratamento), realizou-se sorteio de um animal de cada lote, de forma a distribuí-los aleatoriamente entre os tratamentos (BENDER et alii, 1982). A Tabela 9 traz os pesos por animal de cada tratamento e as médias de peso obtidas.

Tabela 9 - Distribuição dos animais por tratamento, segundo os pesos individuais, valores médios e desvios padrão obtidos para cada tratamento

Tratamento	Animais (g)					Média± DP
	1	2	3	4	5	
A	44,75	48,60	51,55	52,80	59,25	51,39±5,38
B	46,95	47,43	50,17	55,58	63,29	52,68±6,85
C	46,75	48,41	49,85	54,56	58,78	51,67±4,92
D	46,63	48,75	50,26	57,87	62,03	53,11±6,54
Padrão	44,19	48,71	51,63	56,07	68,43	53,81±9,25

Os animais já distribuídos foram mantidos individualmente em gaiolas de crescimento recebendo dietas teste e água por 15 dias, durante os quais já eram pesados para determinação do PER e curvas de crescimento.

Após este período, os animais foram transferidos para gaiolas metabólicas individuais, durante 5 dias, para

coleta de fezes e urina e determinação do balanço de nitrogênio.

Após o período nas gaiolas metabólicas, os animais foram novamente colocados nas gaiolas de crescimento para dar continuação às pesagens.

Balanço de nitrogênio (BN) - O cálculo do BN foi realizado pela diferença entre o nitrogênio ingerido e a soma do nitrogênio excretado nas fezes e na urina.

$$BN = NI - (NF + NU)$$

onde:

BN = balanço de nitrogênio

NI = nitrogênio ingerido

NF = nitrogênio fecal total

NU = nitrogênio urinário total

Digestibilidade aparente (D_a) - A D_a foi determinada através da quantificação do nitrogênio ingerido da dieta e do nitrogênio excretado nas fezes. Não foi utilizado um grupo de animais recebendo dieta aprotéica, portanto não se calculou a digestibilidade verdadeira, visto que, conforme Pellet e Young (1980), não foi corrigida a perda de nitrogênio fecal endógeno.

$$D_a = \frac{NI - NF}{NI} = \frac{NA}{NI} \times 100$$

onde:

D_a = digestibilidade aparente

NA = nitrogênio absorvido

Valor biológico aparente (VB_a) - O VB_a foi determinado segundo Mitchell (1924), diferindo apenas na ausência do uso de um grupo de ratos alimentados com dieta aprotéica.

$$VB_a = \frac{NA - NU}{NI - NF} = \frac{NR}{NA} \times 100$$

onde:

NR = nitrogênio retido

Utilização líquida aparente de proteína (NPU_a) - A NPU_a foi determinada segundo o método descrito por Bender e Miller (1953), excetuando-se o uso de um grupo de animais com dieta aprotéica.

$$NPU_a = VB_a \times D_a$$

OU

$$NPU_a = \frac{NR}{NI} \times 100$$

Quociente de eficiência protéica (PER) - O PER foi determinado utilizando-se basicamente o método da AOAC, procedimentos 43.183 a 43.187 (1975). Foram utilizados 25 ratos machos (5 ratos por tratamento), mantidos em gaiolas individuais, recebendo água e alimento *ad libitum* durante 28 dias. Os animais foram pesados periodicamente. No final deste período, calculou-se o valor do PER para cada tratamento utilizando-se a seguinte fórmula:

$$PER = \frac{\text{Ganho de peso (g)}}{\text{Proteína ingerida (g)}}$$

A proteína ingerida foi calculada utilizando-se os teores reais de proteína encontrados nas diferentes dietas (média = 10,00 ± 0,31).

O PER corrigido foi calculado considerando-se o valor 2,5 para a caseína e multiplicando-se os valores obtidos para as demais dietas por um fator de correção (f).

$$f = \frac{2,5}{\text{Valor real do PER da dieta de caseína}}$$

Em função do consumo das dietas e do ganho de peso dos animais, calculou-se também o quociente de eficiência alimentar (QEA), representado pelo quociente entre a dieta ingerida e o ganho de peso, segundo Dutra de Oliveira e Scatena (1967), e determinaram-se as curvas de crescimento para cada dieta, graficando-se tempo (dias) versus peso dos animais (g).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da matéria-prima

Caracterizou-se a matéria-prima em forma de grão e de farinha, para avaliar diferenças entre as amostras.

Na Tabela 10 pode-se observar as propriedades dos grãos.

Tabela 10 - Propriedades dos grãos de feijão, cultivar Carioca 80 s.h.

Análises	Amostra 1	Amostra 2
Umidade (%)	10,66	9,97
Tempo de cocção (min)	34,5	158
Capacidade de hidratação (g H ₂ O abs./100g grãos)	109,6	103,4
Cor	+ clara	+ escura
Odor	8,20±0,25 ^a	8,00±0,29 ^a
Gosto	8,36±0,24 ^a	7,48±0,28 ^b
Textura	6,02±0,28 ^a	4,15±0,31 ^b

Amostra 1 = feijão recém-colhido (safra 88); Amostra 2 = feijão estocado durante 1 ano (safra 87) a T ambiente.

Na Análise Sensorial, as médias seguidas de letras diferentes, na linha horizontal, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,01$).

A amostra 1 apresentou melhor sabor, e foi também a mais macia, mais próxima da textura ideal. Gosto amargo foi perceptível na amostra 2 com maior intensidade.

O tempo de cocção, o gosto e a textura foram as propriedades mais afetadas pela estocagem dos grãos, considerando que as diferenças encontradas não são devido aos grãos serem de safras diferentes.

Os feijões estudados (*P. vulgaris* L., variedade Carioca 80 s.h.) tiveram um aumento de 4,6 vezes no tempo de cozimento após 1 ano de armazenamento. Os grãos haviam sido estocados com umidades de 9 a 11%, à temperatura ambiente.

Na melhor das hipóteses, o feijão requer um tempo de cozimento relativamente prolongado. Este tempo é ainda aumentado com armazenagem prolongada sob condições desfavoráveis. A perda das propriedades culinárias, i.e., o aumento do tempo de cozimento, é função do tempo, temperatura e teor de umidade dos grãos durante a estocagem.

Num estudo realizado por Morris e Wood (1956) com sete variedades de feijões (*Phaseolus vulgaris* e *P. lunatus*) estocados a 25°C, os grãos com teores de umidade de 13% ou mais apresentaram textura significativamente mais firme quando cozidos após somente 6 meses de estocagem.

Muneta (1964) mediu o tempo de cozimento requerido por diversas espécies e variedades de feijões de várias localidades dos Estados Unidos. Os grãos foram estocados a temperatura ambiente por 18 meses. A maioria dos resultados não foi muito surpreendente, mas feijões Pinto e Michelite cultivados no estado de Michigan demoraram quase 4 horas para atingir uma textura macia, enquanto que as mesmas variedades cultivadas em Idaho necessitaram de apenas 82 e 59 minutos, respectivamente. Análise das amostras mostrou que todos os lotes estudados possuíam umidade abaixo de 10%, exceto aqueles provindos de Michigan que continham aproximadamente 13%. Estes dados levaram a estudos mais extensivos sobre a influência do tempo, temperatura e teores de umidade no tempo de cozimento de feijões "pinto" e

"Sanilac" (*P. vulgaris*) e "Lima" (*P. lunatis*). Os resultados demonstraram que as qualidades culinárias de feijões deterioraram-se a um grau bastante sério em condições de armazenamento encontradas na prática. Por exemplo, o tempo de cozimento de feijões pinto com 14,4% de umidade, estocados durante 7 meses a 32°C, mostrou um aumento de 14 vezes. À temperatura bastante moderada de 21°C, feijões Lima com 15,5% de umidade necessitaram de um tempo 5 vezes maior que o original após 12 meses de armazenamento. Sob as mesmas condições, feijões Lima com 13,1% de umidade dobraram seu tempo de cozimento. O tempo de cozimento triplicou para grãos Sanilac com 16,0% de umidade estocados por 1 ano a 21°C. Todos os 3 tipos de feijão ficaram relativamente estáveis por 1 ano se estocados a temperaturas iguais ou inferiores a 21°C e com teores de umidade iguais ou inferiores a 10-11%. Estocagem que deteriorou as qualidades culinárias de feijões não afetou a taxa de hidratação a 45°C.

As curvas de hidratação dos grãos apresentadas na Figura 6 demonstram que não existiram grandes diferenças no comportamento das duas amostras de feijão. O feijão estocado durante mais tempo absorveu água um pouco mais rapidamente que o feijão novo, mas alcançou um peso final levemente inferior. O feijão novo absorveu 1,08 g água/ g feijão, enquanto que o feijão estocado por 1 ano absorveu 1,00 g água/ g feijão. As condições de estocagem que afetaram as qualidades culinárias dos grãos, não afetaram a taxa de hidratação dos mesmos.

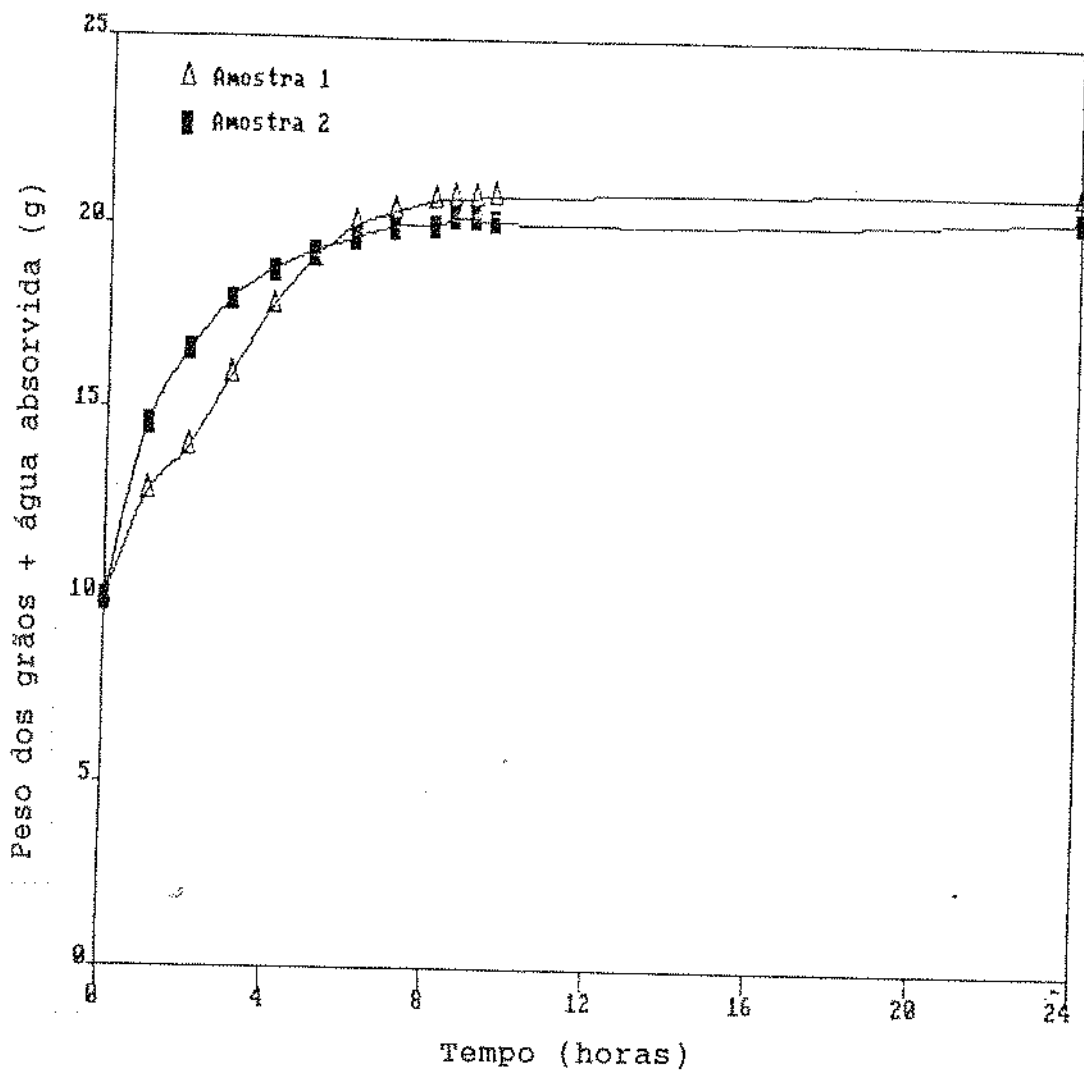


Figura 6 - Curvas de hidratação dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*), variedade Carioca 80 s.h. Amostra 1 = feijão recém-colhido (safra 88); Amostra 2 = feijão estocado durante 1 ano (safra 87) a T ambiente.

Para avaliar as propriedades das farinhas cruas utilizaram-se farinhas com a granulometria exposta na Tabela 11.

Tabela 11 - Granulometria das farinhas cruas utilizadas nas análises

Mesh	Tamanho de partícula (mm)	Amostra 1 (% retida)	Amostra 2 (% retida)
28	0,59	4,22	4,37
35	0,42	7,93	8,47
48	0,297	10,46	12,94
65	0,210	23,64	30,74
100	0,149	21,64	23,38
150	0,105	11,27	15,02
<150	<0,105	20,63	5,03

Amostra 1 = feijão recém-colhido (safra 88); Amostra 2 = feijão estocado durante 1 ano (safra 87) a T ambiente.

O tamanho de partícula das farinhas cruas utilizadas nas análises concentrou-se abaixo de 0,297 mm.

Nas Tabelas 12 e 13 encontra-se um resumo das propriedades físico-químicas e funcionais das farinhas cruas.

Tabela 12 - Propriedades físico-químicas e funcionais das farinhas cruas

Análises	Amostra 1	Amostra 2
Umidade (%)	10,66	9,97
Proteína (%)	21,11	20,06
Proteína sol. em H ₂ O (%)	60,54	67,90
Proteína sol. NaCl 0,3N (%)	75,79	70,19
I.A.A. (g/g amostra)	2,67	2,81
I.S.A. (g/g amostra)	0,30	0,24
Atividade hemaglutinante (TH/g amostra)	1,2x10 ⁴	1,2x10 ⁴
Atividade antitriptica (UTI/mL extrato)	317	315

Amostra 1 = feijão recém-colhido (safra 88); Amostra 2 = feijão estocado durante 1 ano (safra 87) a T ambiente.

I.A.A. = índice de absorção de água.

I.S.A. = índice de solubilidade em água.

O feijão novo possui porcentagens de umidade, proteína total e proteína solúvel em solução de NaCl 0,3N superiores ao feijão estocado por mais tempo. O índice de solubilidade em água também é maior.

A porcentagem de proteína solúvel em água e o índice de absorção de água são mais elevados para o feijão mais velho.

As atividades hemaglutinante e antitriptica foram semelhantes para as duas amostras.

Tabela 13 - Características de viscosidade de pasta das farinhas cruas

Parâmetros de viscosidade	Amostra 1	Amostra 2
Temperatura inicial da formação de pasta (°C)	64,9	66,7
Viscosidade inicial a 25°C (U.A.)	40	20
Viscosidade máxima a T constante = 95°C (U.A.)	590	390
Viscosidade final a 50°C (U.A.)	760	750

Amostra 1 = feijão recém-colhido (safra 88); Amostra 2 = feijão estocado durante 1 ano (safra 87) a T ambiente.

U.A. = unidades amilográficas.

Os amilogramas das farinhas cruas demonstram um aumento na viscosidade com o aquecimento, sendo a temperatura inicial de formação de pasta 64,9°C para a Amostra 1 e 66,7°C para a Amostra 2. A viscosidade aumenta ainda mais após o resfriamento, devido à retrogradação. A Amostra 2 parece demonstrar maior resistência à hidratação e gelatinização. Ambas amostras possuem comportamento semelhante na fase de resfriamento, atingindo a mesma viscosidade final.

A maior viscosidade das farinhas de feijão novo está de acordo com a teoria de que o envelhecimento dos grãos causa a insolubilização das substâncias pécticas. As células do feijão envelhecido não se rompem facilmente, dificultando a liberação do amido, que é responsável pelo aumento da viscosidade. Este fenômeno também é observado no cozimento doméstico de feijão, onde a calda do feijão mais novo é mais espessa que a do feijão mais velho.

4.2 Testes preliminares de extrusão

A. 1º Experimento

As amostras de farinhas extrusadas no 1º Experimento preliminar foram avaliadas com relação a umidade, índices de absorção de água e de solubilidade em água (I.A.A. e I.S.A., respectivamente), viscosidade de pasta e atividade hemaglutinante. Estes foram os parâmetros escolhidos para a definição das melhores condições de extrusão. Os resultados encontram-se nas Tabelas 14 e 15.

Neste experimento utilizou-se apenas a amostra 1 (feijão safra 88).

Tabela 14 - Análise das farinhas extrusadas no 1º Experimento preliminar (Amostra 1, Condições I e II)

Análises	Condição I	Condição II
Umidade do produto final (%)	6,66	7,08
I.A.A. (g/g amostra)	5,08	5,63
I.S.A. (g/g amostra)	0,26	0,32
Atividade hemaglutinante (TH/g amostra)	0	0

Amostra 1 = feijão recém-colhido (safra 88); Condição I: taxa de compressão = 3:1, umidade = 22% e temperatura da 2ª e 3ª zonas = 180°C; Condição II: taxa de compressão = 4:1, umidade = 26% e temperatura da 2ª e 3ª zonas = 190°C; Constantes: temperatura da 1ª zona = 80°C, rotação da rosca = 100 rpm e diâmetro da matriz = 3 mm.

Tabela 15 - Características de viscosidade de pasta das farinhas extrusadas no 1º Experimento preliminar (Amostra 1, Condições I e II)

Parâmetros de viscosidade	Amostra 1	
	Condição I	Condição II
Viscosidade inicial a 25°C (U.A.)	480	300
Viscosidade mínima a T constante=95°C (U.A.)	240	160
Viscosidade final a 50°C (U.A.)	510	360

Amostra 1 = feijão recém-colhido (safra 88); Condição I: taxa de compressão = 3:1, umidade = 22% e temperatura da 2ª e 3ª zonas = 180°C; Condição II: taxa de compressão = 4:1, umidade = 26% e temperatura da 2ª e 3ª zonas = 190°C; Constantes: temperatura da 1ª zona = 80°C, rotação da rosca = 100 rpm e diâmetro da matriz = 3 mm.

U.A. = unidades amilográficas.

Os índices de absorção de água e de solubilidade em água apresentaram-se superiores para os feijões extrusados na Condição II (Tabela 14). Em ambas condições eliminou-se a atividade hemaglutinante (Tabela 14). A viscosidade de pasta apresentou-se inferior para os feijões extrusados na Condição II (Tabela 15).

Optou-se pela Condição II pelo melhor desempenho do equipamento nesta condição, mesmo observando que as propriedades funcionais da farinha extrusada na Condição I (principalmente viscosidade de pasta) eram mais favoráveis.

B. 2º Experimento

Realizou-se mais um experimento preliminar, desta vez utilizando as amostras 1 e 2 na Condição II. Avaliaram-se as amostras extrusadas quanto a suas características sensoriais. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 - Análise das farinhas extrusadas no 2º Experimento preliminar (Amostras 1 e 2, Condição II)

Análises	Amostra 1	Amostra 2
Umidade do produto recém-extrusado (%)	11,47	12,94
Umidade do produto final (%)	4,22	5,09
Odor característico	6,98±0,33 ^a	6,35±0,46 ^a
Gosto característico	6,76±0,45 ^a	5,00±0,74 ^b
Textura característica	7,08±0,49 ^a	6,92±0,47 ^a

Amostra 1 = feijão recém-colhido (safra 88); Amostra 2 = feijão estocado durante 1 ano (safra 87) a T ambiente. Condição II: umidade = 26%, taxa de compressão = 4:1, diâmetro da matriz = 3 mm, rotação da rosca = 100 rpm, temperatura da 1ª zona = 80°C, temperatura da 2ª e 3ª zonas = 190°C.

Na Análise Sensorial, as médias seguidas de letras diferentes, na linha horizontal, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,01$).

A amostra 1 apresentou melhor gosto. Foi detectado gosto amargo nas duas amostras, mas com maior intensidade na amostra 2.

A extrusão de farinhas mistas de feijão com arroz, nos testes definitivos, foi uma tentativa de atenuar o gosto amargo, além de melhorar o valor nutricional do produto.

4.3 Testes definitivos de extrusão

Os testes definitivos de extrusão foram realizados com farinhas de feijão de duas safras diferentes e farinhas mistas de feijão (de duas safras diferentes) com arroz, na proporção de 1:3 (feijão:arroz), P/P. A adição de arroz visa a melhoria das propriedades nutritivas do produto final, além de ser uma tentativa de atenuar o gosto amargo detectado nas farinhas de feijão extrusadas nos testes preliminares.

A extrusão foi realizada na Condição II dos testes preliminares, abaixando-se ainda mais o teor de umidade do material a ser alimentado, para melhorar as condições técnicas do processo (Umidade = 18,5% para farinhas mistas e 21,5% para farinhas de feijão).

A seguir, apresentamos os resultados das análises físico-químicas, funcionais e nutricionais obtidos para as 4 farinhas avaliadas, sendo A = farinha extrusada de feijão safra 89; B = farinha extrusada de feijão safra 87; C = farinha extrusada de arroz + feijão safra 89; e D = farinha extrusada de arroz + feijão safra 87.

A Tabela 17 mostra a composição centesimal, o valor calórico e o NDPCal% obtidos para as 4 farinhas em estudo.

Tabela 17 - Composição centesimal, valor calórico e NDPCal% das amostras extrusadas

Análises	A	B	C	D
Umidade (%)	3,61	3,82	4,69	5,89
Cinzas (%)	3,90	3,73	1,28	1,28
Gordura (%)	2,20	2,10	1,16	1,12
Proteína (%)	22,56	20,62	12,56	12,31
Carboidratos* (%)	67,73	69,73	80,31	79,40
kcal/100g	380,96	380,30	381,92	376,92
NDPCal%	15,56	15,04	9,68	9,08

* obtidos por diferença

A = feijão 89; B = feijão 87; C = arroz + feijão 89; D = arroz + feijão 87. Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado 1 ano a T ambiente e 1 ano no congelador.

Os teores de umidade e de carboidratos determinados para as amostras extrusadas mistas foram maiores que os das farinhas extrusadas de feijão. As porcentagens de cinzas, gordura e proteína foram mais elevados para as farinhas de feijão.

A umidade (%) do produto recém-extrusado foi de 9,52, 9,17, 10,44 e 9,60 para as amostras A, B, C e D, respectivamente. Estes valores foram reduzidos em estufa para teores de 3-6%, como pode-se observar na Tabela 17.

Em base seca, a composição centesimal das 4 farinhas está descrita na Tabela 18.

Tabela 18 - Composição centesimal das amostras extrusadas, em base seca

Análises	A	B	C	D
Cinzas (%)	4,05	3,88	1,34	1,36
Gordura (%)	2,28	2,18	1,22	1,19
Proteína (%)	23,40	21,44	13,18	13,08
Carboidratos* (%)	70,27	72,50	84,26	84,37

* obtidos por diferença

A = feijão 89; B = feijão 87; C = arroz + feijão 89; D = arroz + feijão 87. Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado 1 ano a T ambiente e 1 ano no congelador.

Os valores encontrados para as farinhas de feijão são semelhantes àqueles encontrados por Valenzuela (1989) para o feijão Carioca 80, exceto os teores de gordura e de carboidratos. Como não foi determinado o teor de fibra bruta, sua porcentagem foi incluída com a porcentagem de carboidratos.

Valenzuela (1989) encontrou a seguinte composição centesimal para feijão Carioca 80, em base seca: proteína 23,41%, matéria-graxa 1,45%, carboidrato 65,92%, cinza 4,22% e fibra bruta 5,00%.

Sgarbieri et alii (1979) encontraram valores (base seca) de: proteína 23,37%, lipídios 1,45%, cinza 4,18%, carboidrato 67,18% e fibra bruta 3,82%, para feijão Carioca.

O valor calórico foi muito parecido para os 4 produtos. A quantidade de calorias a mais fornecidas pelos carboidratos do arroz nas farinhas mistas é compensada pelas calorias fornecidas pela gordura e proteínas do feijão nas farinhas só de feijão.

O NDPCal%, que nos indica a porcentagem das proteínas utilizáveis pelo organismo, calculada em função das calorias totais, é de aproximadamente 15 para as farinhas de feijão e aproximadamente 9 para as farinhas mistas, sendo um pouco mais elevado quando a farinha é preparada com feijão novo. Não é interessante que este valor seja muito alto, pois a função primordial das proteínas da dieta é promover a síntese protéica a nível de tecidos. Este índice tem sido usado por nutricionistas para avaliar o equilíbrio protéico-energético das dietas ou alimentos. Como referência, aceita-se que os alimentos infantis tenham NDPCal% entre 8 e 12, e dietas para adultos entre 6 e 8. Assim, pode-se concluir que as farinhas extrusadas mistas constituiriam alimento mais balanceado tanto para crianças como para adultos, do ponto de vista protéico-energético.

As Tabelas 19, 20 e 21 apresentam características funcionais das farinhas extrusadas.

Tabela 19 - Índices de absorção de água e de solubilidade em água e capacidade de emulsificação das farinhas extrusadas

Análises	A	B	C	D
I.A.A. (g/g amostra)	4,82	4,78	7,12	7,80
I.S.A. (g/g amostra)	0,30	0,31	0,09	0,09
Atividade emulsificante (%)	100	100	30,08	40,76

A = feijão 89; B = feijão 87; C = arroz + feijão 89; D = arroz + feijão 87. Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado 1 ano a T ambiente e 1 ano no congelador.

As farinhas extrusadas mistas possuem índice de absorção de água bem mais elevados que as farinhas de feijão. O maior teor de carboidratos pré-gelatinizados das

farinhas mistas, pode ser a razão disto. O índice de solubilidade em água, entretanto, é bem menor para as farinhas mistas. O feijão possui mais sólidos solúveis (mais proteínas solúveis) que o arroz, o que reflete-se num maior índice de solubilidade em água para as farinhas de feijão puro.

Apesar das farinhas mistas apresentarem melhor dissolução, sua atividade emulsificante não atinge a das farinhas de feijão. No método utilizado, a atividade emulsificante é descrita como a proporção de emulsão formada. A capacidade de emulsificação das farinhas de feijão foi de 100%, enquanto que para as farinhas mistas ficou em torno de 30-40%.

Os valores encontrados de 100% de atividade emulsificante para as farinhas extrusadas de feijão, significariam que uma solução de 5% de farinha foi capaz de emulsificar todo o óleo adicionado à água, formando uma emulsão de 50% de óleo.

Para os testes realizados com as farinhas mistas houve uma nítida separação de fases, de baixo para cima: emulsão, água e óleo.

As farinhas de feijão puro possuem maior teor de proteínas responsáveis pela atividade emulsificante. As proteínas do feijão, globulinas e albuminas, são mais solúveis em água, por serem mais polares, portanto apresentando maior capacidade de emulsificação que as proteínas do arroz (glutelinas).

Dench et alii (1981) encontraram valores de 50 a 60% de atividade emulsificante para farinha e isolados de gergelim e para farinha de soja. Os isolados de soja apresentaram valores mais elevados, de aproximadamente 90%.

Tabela 20 - Características de viscosidade de pasta das farinhas extrusadas

Parâmetros de viscosidade	A	B	C	D
Viscosidade inicial a 25°C (U.A.)	240	240	320	580
Viscosidade mínima a T constante = 90°C	60	40	110	90
Viscosidade final a 50°C	110	40	200	100

A = feijão 89; B = feijão 87; C = arroz + feijão 89; D = arroz + feijão 87. Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado 1 ano a T ambiente e 1 ano no congelador.

U.A. = unidades amilográficas.

Os viscoamilogramas das farinhas extrusadas são típicos de farinhas pré-gelatinizadas, possuindo elevada viscosidade a frio. A viscosidade decresce com o aquecimento. As farinhas extrusadas mistas possuem viscosidade mais elevada que as farinhas extrusadas de feijão.

A maior viscosidade das farinhas mistas deve-se também ao maior teor de amido pré-gelatinizado. Para o preparo de sopas instantâneas e alimentos infantis, p. ex., estas características de viscosidade são importantes.

Excetuando o valor da viscosidade inicial a 25°C para a amostra D, as farinhas extrusadas contendo feijão velho (amostras B e D) apresentaram viscosidades mais baixas que as farinhas equivalentes preparadas com feijão novo. Assim como o ocorrido com as farinhas cruas, isto novamente está de acordo com a teoria de que o envelhecimento do feijão leva a uma insolubilização das substâncias pécticas,

dificultando a liberação do amido das células, que aumentaria a viscosidade.

O problema da diferença de textura entre os grãos cozidos por processo doméstico é eliminado com a extrusão de farinhas, pois na Análise Sensorial realizada no 2º Experimento preliminar (Tabela 16) não encontrou-se diferença significativa entre as amostras de farinha de feijão extrusadas, a nível de textura, mesmo sendo observada nos amilogramas uma diferença de viscosidade entre as amostras preparadas com feijão novo e feijão velho (Tabela 20).

Tabela 21 - Intensidade do gosto amargo das amostras extrusadas (escala não-estruturada de 9cm; 0 = nenhum, 9 = excessivo)

Amostra	Intensidade do gosto amargo
A	4,39 ^{ab}
B	4,70 ^a
C	3,20 ^{ab}
D	2,87 ^b

A = feijão 89; B = feijão 87; C = arroz + feijão 89; D = arroz + feijão 87. Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado 1 ano a T ambiente e 1 ano no congelador.

As médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Com relação à intensidade do gosto amargo, existe diferença significativa, a nível de 5%, entre as amostra B e D, sendo a amostra B a mais amarga. Isto demonstra que o arroz ajuda a mascarar o gosto amargo. Nos testes preliminares já havia sido detectado o gosto amargo nas farinhas extrusadas de feijão. Observamos que a adição de

arroz, na proporção de 3:1 (arroz:feijão) P/P, ajuda a mascarar o gosto amargo.

Nas Tabelas 22 e 23 apresentam-se os dados utilizados nas determinações das propriedades nutritivas.

Tabela 22 - Nitrogênio ingerido, fecal, urinário, absorvido e retido pelos grupos de animais alimentados com as dietas experimentais e com a dieta padrão de caseína

Dieta	Nitrogênio (mg)				
	NI	NF	NU	NA	NR
A	734± 91	219± 24	33± 17	515± 68	482± 56
B	780±112	216± 48	26± 37	564± 92	538± 62
C	1193±141	233± 31	80± 22	960±112	880±113
D	1096± 68	225± 17	120± 36	870± 65	750± 75
Padrão	1023±205	87± 16	67± 89	936±188	869±105

A = feijão 89; B = feijão 87; C = arroz + feijão 89; D = arroz + feijão 87. Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado 1 ano a T ambiente e 1 ano no congelador.

NI = nitrogênio ingerido; NF = nitrogênio fecal; NU = nitrogênio urinário; NA = nitrogênio absorvido e NR = nitrogênio retido.

Valores médios para 5 animais em cada grupo.

Tabela 23 - Consumo de dieta e ganho de peso dos animais, em gramas, em 28 dias

Dieta	Consumo (g)	Ganho de peso (g)
A	316,14±29,20	49,75± 5,01
B	303,13±22,57	46,06± 9,06
C	404,95±95,53	96,68± 7,99
D	351,46± 8,19	91,97± 6,13
Padrão	373,34±67,21	110,42±21,81

A = feijão 89; B = feijão 87; arroz + feijão 89; D = arroz + feijão 87. Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado 1 ano a T ambiente e 1 ano no congelador.

Valores médios para 5 animais em cada grupo.

Pode-se observar que os ratos alimentados com as dietas C e D, utilizando as farinhas extrusadas mistas de arroz e feijão como fontes de proteína, consumiram uma quantidade maior de dieta (em g) que os ratos alimentados com as dietas A e B, baseadas nas farinhas extrusadas somente de feijão. Conseqüentemente, o nitrogênio ingerido pelos ratos alimentados com as dietas C e D foi maior, assim como o nitrogênio absorvido e o nitrogênio retido.

A seguir apresentam-se as propriedades nutritivas das dietas preparadas com as farinhas extrusadas, comparando-as com dieta padrão de caseína (Tabela 24).

Tabela 24 - Propriedades nutritivas das dietas preparadas com as amostras extrusadas e da dieta padrão de caseína

Medidas	A	B	C	D	Padrão (caseína)
BN	0,48 ^b ± 0,06	0,54 ^b ± 0,06	0,88 ^a ± 0,11	0,75 ^a ± 0,07	0,87 ^a ± 0,10
Da	70,09 ^c ± 1,05	72,30 ^c ± 4,70	80,50 ^b ± 0,77	79,39 ^b ± 1,51	91,48 ^a ± 0,35
VB _a	93,87 ^a ± 2,72	96,04 ^a ± 4,59	91,56 ^a ± 2,45	86,13 ^a ± 3,74	93,82 ^a ± 5,96
NPU _a	65,77 ^b ± 1,26	69,45 ^b ± 5,88	73,70 ^b ± 1,90	68,39 ^b ± 3,36	85,81 ^a ± 5,32
PER corrigido	1,24 ^c ± 0,12	1,22 ^c ± 0,30	1,94 ^b ± 0,32	2,11 ^{ab} ± 0,12	2,50 ^a ± 0,08
QEA	0,16 ^c ± 0,01	0,15 ^c ± 0,03	0,25 ^b ± 0,04	0,26 ^b ± 0,01	0,30 ^a ± 0,01

A = feijão 89; B = feijão 87; C = arroz + feijão 89 ; D = arroz + feijão 87.

Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado durante 1 ano a T ambiente e 1 ano em congelador.

Letras diferentes nas linhas horizontais indicam diferenças estatisticamente significantes ($P \leq 0,01$).

A Tabela 24 mostra que a adição de 25% de arroz melhorou o BN e a Da, porém não teve influência significativa sobre o VB_a e NPU_a. O VB_a é estatisticamente igual para todas as dietas, inclusive a dieta padrão de caseína. Os valores de NPU_a são estatisticamente iguais para as dietas teste, significativamente menores que o da dieta padrão.

O PER corrigido e o QEA também melhoraram com a adição de 25% de arroz, mas apenas o PER da dieta D alcançou os níveis da dieta padrão de caseína.

Observando a Tabela 24 constatamos que o BN, que corresponde ao nitrogênio retido pelos ratos, é maior para as dietas extrusadas mistas, que apresentam valores estatisticamente iguais à dieta padrão de caseína. Isto se deve ao fato das farinhas extrusadas mistas possuírem um perfil de aminoácidos melhor que as farinhas extrusadas só de feijão. O feijão é deficiente em aminoácidos sulfurados e rico em lisina e o arroz, por sua vez, é pobre em lisina e rico em aminoácidos sulfurados. Assim, a mistura dos dois fornece um produto de melhor qualidade protéica.

A Da também reflete a melhoria causada pela adição de arroz, em termos de qualidade protéica. Neste caso, os índices das farinhas mistas não alcançaram o da dieta padrão.

O VB_a não demonstra o mesmo que os índices anteriores. Isto ocorre pois o VB_a é o quociente do nitrogênio retido pelo nitrogênio absorvido e no caso das dietas mistas o nitrogênio retido foi maior que o das dietas só de feijão, mas o nitrogênio absorvido também o foi, resultando em índices estatisticamente iguais para todas as dietas.

Assim como o VBa, o NPUa também não apresentou diferença significativa entre as dietas preparadas com farinhas extrusadas. Novamente, isto não é sinal de que as dietas mistas não apresentaram melhoria na qualidade protéica, pois o NPUa é o quociente do nitrogênio retido pelo nitrogênio ingerido e sendo o nitrogênio ingerido pelos ratos alimentados com as dietas mistas maior que o nitrogênio ingerido pelos ratos alimentados com as dietas só de feijão, os índices aparecem como estatisticamente iguais. Os valores mais elevados encontrados para o nitrogênio ingerido com as dietas mistas podem indicar uma melhor palatabilidade das mesmas.

O PER corrigido, o QEA e as curvas de crescimento dos ratos, assim como o BN e a Da, refletem a melhoria na qualidade protéica alcançada pela adição de arroz. No caso do PER, a dieta mista de arroz com feijão estocado por mais tempo até alcançou níveis estatisticamente iguais à dieta padrão.

Convém destacar que não houve diferença significativa para nenhum destes índices entre as duas dietas só de feijão (feijão velho e feijão novo) ou entre as duas dietas de farinhas mistas (arroz com feijão velho e arroz com feijão novo). Isto reforça a possibilidade de utilização da extrusão como método de cocção para feijões estocados por mais tempo.

Os valores obtidos para a digestibilidade das farinhas de feijão estão de acordo com estudo realizado por Sgarbieri e Tezoto (1990), que encontraram digestibilidade de aproximadamente 70% para feijão Carioca 80 cozido por processo doméstico (maceração 12-48 h, cozimento 15 psi/ 40 min.). A digestibilidade encontrada para as farinhas mistas é mais elevada pois o nitrogênio absorvido pelos ratos que ingeriram as dietas baseadas em farinhas mistas é bastante superior ao nitrogênio absorvido pelos ratos que ingeriram

as dietas baseadas em farinhas de feijão. Já a dieta padrão de caseína apresenta valores de nitrogênio absorvido semelhantes às dietas com farinhas mistas, mas como o nitrogênio ingerido foi menor, a digestibilidade é menor.

Os valores encontrados para o valor biológico e NPU de todas as farinhas extrusadas são superiores aos valores encontrados por Sgarbieri e Tezoto (1990), que encontraram 68,5% e 43,9% para o valor biológico e NPU, respectivamente, de dietas contendo 10% proteína de feijão Carioca 80, cozido por processo doméstico, como única fonte protéica. O nitrogênio retido pelos ratos, que entra no cálculo do VB, pode ter sido maior para as farinhas extrusadas que para o feijão cozido por processo doméstico. Isto indicaria uma melhoria na qualidade protéica com a extrusão, com relação ao cozimento por processo convencional. O NPU é diretamente proporcional ao VB, e por isso poderíamos seguir a mesma linha de raciocínio.

A D_a , o VB_a e o NPU_a encontrados para a caseína são semelhantes aos valores encontrados por Sgarbieri e Tezoto (1990).

Em estudo realizado por Brenes et alii (1973) obtiveram-se valores de PER de 1,24 para feijões cozidos por processo doméstico (20-30 min, 16 lbs de pressão) e 2,73 para caseína. Isto corresponde a um PER corrigido de 1,14 para os feijões cozidos por processo doméstico.

O valor nutricional da proteína após processamento em extrusores de rosca única não sofre grandes alterações. Exemplos de tais produtos são farinha de soja integral e farinhas mistas pré-cozidas para uso em alimentação infantil ou materna (JANSEN et alii, 1978; LUKOO, 1980; DEL VALLE et alii e HARPER & JANSEN, 1981). Existe menos informação neste sentido para extrusores de rosca dupla, capazes de operar

numa faixa mais ampla de teores de umidade da matéria-prima (LINKO et alii, 1982).

As curvas de crescimento para os ratos mantidos nos quatro tipos de dieta (28 dias) aparecem na Figura 7.

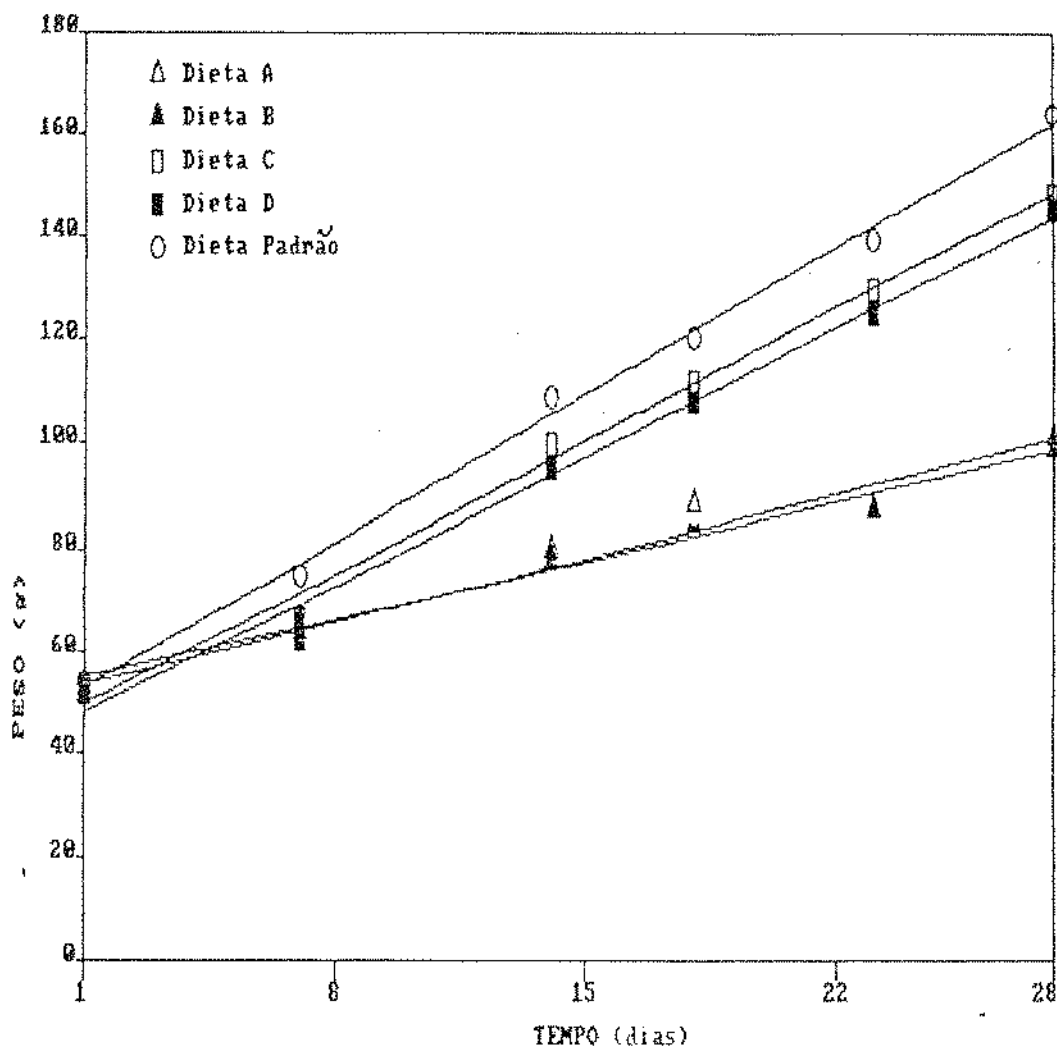


Figura 7 - Curvas de crescimento dos ratos alimentados com as dietas teste e com a dieta padrão de caseína

Regressão linear e coeficientes de correlação:

Dieta A: $Y = 51,74 + 1,77 X$, $r = 0,9805$

Dieta B: $Y = 53,27 + 1,63 X$, $r = 0,9906$

Dieta C: $Y = 45,84 + 3,66 X$, $r = 0,9975$

Dieta D: $Y = 44,74 + 3,52 X$, $r = 0,9938$

Dieta Padrão: $Y = 49,00 + 4,04 X$, $r = 0,9980$

A análise de variância das curvas de crescimento dos ratos alimentados com as dietas teste e com a dieta padrão de caseína (Figura 7) mostra que existe diferença significativa a nível de 1% de significância entre as dietas A e C, A e D, A e Padrão e entre as dietas B e C, B e D, B e Padrão. Esta diferença também fica bastante clara nos gráficos.

Na Tabela 25 pode-se observar o perfil de aminoácidos das farinhas extrusadas.

Tabela 25 - Perfil de aminoácidos das farinhas extrusadas

Aminoácidos	g aminoácido/ 100 g proteína			
	A	B	C	D
Ácido aspártico	15,1	13,2	9,4	8,6
Treonina	4,9	4,0	4,0	3,9
Serina	6,8	5,9	5,0	5,2
Ácido glutâmico	23,5	18,3	21,1	19,1
Prolina	4,1	3,9	4,1	3,7
Glicina	4,3	4,0	4,1	3,7
Alanina	4,5	4,0	4,8	4,4
1/2 Cistina	0,6	0,5	0,8	0,7
Valina	5,3	4,5	4,7	4,7
Metionina	1,2	1,1	1,8	1,8
Isoleucina	4,5	3,8	4,2	3,9
Leucina	9,2	7,2	7,4	7,2
Tirosina	3,2	2,8	3,4	3,4
Fenilalanina	6,1	4,8	4,6	4,4
Amônia	2,0	3,1	3,2	3,3
Lisina	6,1	5,7	4,3	4,0
Histidina	4,4	2,4	2,1	2,1
Arginina	6,5	5,2	6,6	6,3

A = feijão 89; B = feijão 87; C = arroz + feijão 89; D = arroz + feijão 87.

Feijão 89: recém-colhido; feijão 87: estocado durante 1 ano a T ambiente e 1 ano em congelador.

No perfil de aminoácidos das farinhas extrusadas (Tabela 25) vemos que na amostra B (feijão velho) todos os aminoácidos apresentam-se em níveis menores que na amostra A (feijão novo), indicando que o envelhecimento dos grãos causa perdas nutricionais, se não considerarmos as diferenças que possam existir entre as safras.

Observando o perfil de aminoácidos das farinhas extrusadas (Tabela 25) pode-se observar também que a adição de arroz, apesar de ter causado um decréscimo nos teores de lisina (aminoácido deficiente no arroz), provocou um aumento de 50-60% nos teores de metionina (aminoácido deficiente no feijão) tornando as farinhas mistas alimento com balanço de aminoácidos mais adequado.

5. CONCLUSÕES

O feijão em grão, quando envelhecido ou estocado por longo tempo apresenta tempo de cocção mais prolongado, cor mais escura, além de sofrer deterioração do gosto e da textura. A capacidade de absorção de água pelos grãos não é praticamente afetada. Consideramos que estas diferenças não foram causadas por serem as amostras de feijão de diferentes safras.

Dentre as condições de extrusão estudadas, as que deram melhores resultados foram: temperatura da 1ª zona do extrusor = 80°C; temperaturas da 2ª e 3ª zonas = 190°C; rotação da rosca = 100 rpm; diâmetro da matriz = 3 mm; taxa de compressão = 4:1; umidade da matéria-prima = 21,5% para as farinhas de feijão e 18,5% para as farinhas mistas de feijão e arroz.

A mistura com arroz melhora o gosto, diminuindo os teores de proteína e aumentando os de carboidratos. A farinha mista de feijão e arroz tem maior índice de absorção de água, menor índice de solubilidade em água e menor poder de emulsificação que a farinha pura de feijão. As farinhas mistas de feijão com arroz apresentam valores de viscosidade superiores aos da farinha pura de feijão. A farinha de feijão velho tende a possuir menor viscosidade que a de feijão novo. O valor nutritivo, em termos de crescimento dos ratos foi significativamente melhorado na farinha mista de feijão com arroz.

Os dados permitem concluir que as diferenças existentes no gosto e textura entre feijão novo e feijão velho tendem a desaparecer com a extrusão. Portanto, o processo viabiliza a utilização de feijões velhos, já rejeitados para a utilização na forma de grãos. Os resultados obtidos indicam até uma melhoria no valor nutricional do feijão processado por extrusão termoplástica,

quando comparado com dados da literatura para feijão cozido por processo doméstico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMAYA, J. Efeito do armazenamento nas propriedades nutricionais do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista da Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA), 51:20-28, 1980.
- AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, 1976. v. 1-2.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JR., E. L. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion cooking. Cereal Science Today, 14(1):4-7, 11-12, 1969.
- ANONYMOUS. Unusual outbreak of food poisoning. British Medical Journal, 2:1268, 1976.
- ANTUNES, P. L. & SGARBIERI, V. C. Influence of time and conditions of storage on technological and nutritional properties of a dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) variety Rosinha G2. Journal of Food Science, 44:1703-1706, 1979.
- ANTUNES, P. L. & SGARBIERI, V. C. Effect of heat treatment on the toxicity and nutritive value of dry bean (*Phaseolus vulgaris* var. Rosinha G2) proteins. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 28:935-938, 1980.
- AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 12 ed. HORWITZ, W. ed., Washington, 1975. 875p.
- AYKROYD, W. R. & DOUGHTY, J. Legumes in human nutrition.

- FAO Nutrition Studies, 19:1-138, 1964.
- BEEETNER, G.; TSAO, T.; FREY, A.; HARPER, J. Degradation of thiamine and riboflavin during extrusion processing. *Journal of Food Science*, 39(1):207-208, 1974.
- BENDER, A. E. & MILLER, D. S. A new brief method of estimating net protein value. *The Biochemical Journal*, London, 53 (7/8):4-5, 1953.
- BENDER, F. E.; DOUGLAS, L. W.; KRAMER, A. *Statistical methods for food and agriculture*. Westport, AVI, 1982. p. 91-94.
- BJORCK, I. & ASP, N. G. The effects of extrusion cooking on nutritional value - A literature review. In: JOWITT, R., ed. *Extrusion cooking technology*. New York, 1984. p. 181-208.
- BLACKBURN, S. *Amino acid determination. Methods and techniques*. Marcel Dekker, Inc., New York, 1968.
- BLIGH, E. G. & DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biological Physiology*, 37:911-917, 1959.
- BRENES, R. G.; ELÍAS, L. G.; MOLINA, M. R.; de la FUENTE, G.; BRESSANI, R. Changes in chemical composition and nutritive value of common beans and other legumes during house cooking. In: JAFFÉ, W. G., ed. *Nutritional aspects of common beans and other legume seeds as animal and human foods. Proc. of a Meeting held in Ribeirão Preto, Nov. 1973., Caracas*. p. 93-108.
- BRESSANI, R.; ELÍAS, L. G.; NAVARRETE, D. A. Nutritive value of Central American beans. 4. The essential

- amino acid content of samples of black beans, red beans, rice beans and cowpeas of Guatemala. *Journal of Food Science*, 26: 525, 1961.
- BRESSANI, R.; ELÍAS, L. G.; VALIENTE, A. T. Effect of cooking and amino acid supplementation on the nutritive value of black beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *British Journal of Nutrition*, 17:69, 1963.
- BRESSANI, R. Legumes in human diets and how they might be improved. In: *Nutritional improvements of food legumes by breeding*. Eds. B. Milner, M. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1975.
- BURR, H. K. Effect of storage on cooking qualities, processing, and nutritive value of beans. *Archivos Latino-Americanos de Nutrición*, 23:81, 1973.
- BURR, H. K.; KON, S.; MORRIS, H. J. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage. *Food Technology*, 22(3):336-338, 1968.
- DEL VALLE, F. R.; VILLANUEVA, H.; REYES-GOVEA, J.; ESCOBEDO, M.; BOURGES, H.; PONCE, J.; MUNOY, M. J. Development, evaluation and industrial production of a powdered soy-oats infant formula using a low-cost extruder. *Journal of Food Science*, 46: 192-197, 1981.
- DE MUELENARE, H. J. H. & BUZZARD, J. L. Cooker extruders in service of world feeding. *Food Technology*, 23:71-77, 1969.
- DENCH, J. E.; RIVAS, R. N.; CAYGILL, J. C. Selected functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) flour and two protein isolates. *Journal of the Science*

- of Food and Agriculture, 32:557-564, 1981.
- DUTRA DE OLIVEIRA, J. E. & SCATENA, L. Nutritional value of protein from a soybean milk powder. *Journal of Food Science*, Chicago, 32(5):592-594, 1967.
- EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCH, L., ed. *Cereals: a renewable resource, theory and practice*. St. Paul, Association of Cereal Chemists, 1982. 728p.
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food balance sheets, 1960-1962, Rome, FAO, 1966.
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Amino acid content of foods and biological data on proteins, Rome, FAO, 1968.
- FICHTALI, J. & van de VOORT, F.R. Fundamental and practical aspects of twin screw extrusion. *Cereal Foods World*, 34(11):921-929, 1989.
- HARPER, J. M. Extrusion processing of food. *Food Technology*, 32(7):67-72, 1978.
- HARPER, J. M. Food extrusion. *CRC - Critical Reviews in Foods Science and Nutrition*, 11(2):155-215, 1979.
- HARPER, J. M. & JANSEN, G. R. Nutritious foods produced by low-cost technology. LEC Report 10, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1981.
- HARPER, J. M.; STONE, M. L.; TRIBELHORN, R. E.; JANSEN, G. R., LORENZ, K. J.; MAGA, J. A. Evaluation of low-cost

- extrusion cookers for use in LDCs. Annual Report, LEC-2, Fort Collins, Colorado State University, 1977.
- HENTGES, D. L.; WEAVER, C. M.; NIELSEN, S. S. Changes of selected physical and chemical components in the development of the hard-to-cook bean defect. *Journal of Food Science*, 56(2):436-442, 1991.
- HINCHCLIFFE, C.; Mc DANIEL, M.; VAISEY, M.; ESKIN, N. A. M. The flavour of fababeans as affected by heat and storage. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 10:181, 1977.
- JAFFÉ, W. G. Protein digestibility and trypsin inhibitor activity of legume seeds. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 75:219-220, 1950.
- JAFFÉ, W. G. Blutagglutinierende und toxische Eiweissfraktionen aus Bohnen. *Experientia*, 18:76-77, 1962.
- JAFFÉ, W.G. & CAMEJO, G. The action of a toxin protein, isolated from black beans (*Phaseolus vulgaris*), on intestinal absorption in rats. *Acta Cientifica Venezolana*, 12:59-61, 1961.
- JAFFÉ, W. G.; PLANCHART, A.; PAEZ PUMAR, J. I.; TORREALBA, R.; FRANCESCHI, D. N. New studies on a toxic factor in black beans (*Phaseolus vulgaris*). *Archivos Venezolanos de Nutrición*, 6:195-205, 1955.
- JANSEN, G. R. Nutritional evaluation of extruded products. In: HARPER, J. M. & JANSEN, G. R., eds. *Low-cost extrusion cookers*. LEC-1, Fort Collins, Colorado State University, 1976. 35p.

- JANSEN, G. R.; HARPER, G. M.; O'DEEN, L. Nutritional evaluation of blended foods made with a low-cost extruder cooker. *Journal of Food Science*, 43:912-915, 925, 1978.
- JONES, P. M. B. & BOULTER, D. The cause of reduced cooking rate in *Phaseolus vulgaris* following adverse storage conditions. *Journal of Food Science*, 48:623-626, 649, 1983a.
- JONES, P. M. B. & BOULTER, D. The analysis of development of hard bean during storage of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Qualitas Plantarum: Plants and Foods for Human Nutrition*, 48:623-630, 1983b.
- JUNQUEIRA, R. G. & SGARBIERI, V. C. Isolation and general properties of lectins from the bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. Rosinha G2). *Journal of Food Biochemistry*, 5(3):165-179, 1981.
- KADAM, S. S.; SALUNKHE, D. K.; KUO, Harvesting and storage of legumes. In: MATTHEWS, R. H., ed. *Legumes: chemistry, technology and human nutrition*. New York, Marcel Dekker Inc., 1989. p. 24-25.
- KAKADE, M. L. & EVANS, R. J. Effect of soaking and germination on the nutritive value of navy beans. *Journal of Food Science*, 31:781, 1966.
- KAKADE, M. L.; SIMONS, N.; LIENER, I. E. An evaluation of natural vs. synthetic substrates for measuring the antitryptic activity of soybean samples. *Cereal Chemistry*, 46:518-526, 1969.
- KAPLAN, L. Archaeology and domestication in American

- Phaseolus* (beans). *Economic Botany*, 19:358-368, 1965.
- KHAYAMBASHI, H. & LYMAN, R. L. Secretion of rat pancreas perfused with plasma from rats fed soybean trypsin inhibitor. *American Journal of Physiology*, 217:646-651, 1969.
- KON, S. Pectic substances of dry beans and their possible correlation with cooking time. *Journal of Food Science*, 33:437-438, 1968.
- KORTE, R. Heat resistance of phytohemagglutinins in weaning food mixtures containing beans (*Phaseolus vulgaris*). *Ecol. Food Nutr.*, 1:103-307, 1972.
- LIENER, I. E. Toxic factors in edible legumes and their elimination. *American Journal of Clinical Nutrition*, 11:281, 1962.
- LIENER, I. E. Significance for humans of biologically active factors in soybeans and other food legumes. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 56:121-129, 1979.
- LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. High-temperature, short-time extrusion cooking. In: POMERANZ, Y., ed. *Advances in Cereal Science and Technology*, vol. IV, AACC Inc., St. Paul, 1982. pp. 145-235.
- LORENZ, K. & JANSEN, G. R. Nutrient stability of full-fat soy flour and corn-soy blends produced by low-cost extrusion. *Cereal Foods World*, 25(4): 161-162, 171, 1980.
- LUKOO, H. M. Extruded high-protein weaning food products. In: LINKO, P.; MALKKI, Y.; OLKKU, J.;

LARINKARI, J., eds. Food Process Engineering, vol. 1: Food Processing Systems. Applied Science Publishers Ltd., London, 1980. pp. 839-844.

MADAR, Z.; TENCER, Y.; GERTHER, A.; BIRK, Y. The comparative effect of prolonged feeding with raw and heated soybean meal on the growth response, pancreatic enlargement and pancreatic enzymes of chicks. *Nutrition and Metabolism*, 20:234-242, 1976.

MITCHELL, H. H. A method of determining the biological value of protein. *The Journal of Biological Chemistry*, Baltimore, 58(3):873-903, 1924.

MOLINA, M. R.; de la FUENTE, G.; BRESSANI, R. Condiciones óptimas de procesamiento para la preparación de harinas precocidas de frijol. Apresentado no Terceiro Encontro da Sociedade Latino Americana de Nutrição (SLAN). INCAP, Guatemala, Set. 11-14, 1972.

MOLINA, M. R.; de la FUENTE, G.; BRESSANI, R. Interrelationships between storage, soaking time, cooking time, nutritive value and other characteristics of the dry bean (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Food Science*, 40:587-591, 1975.

MORAES, R. M. & ANGELUCCI, E. Chemical composition and amino acid contents of Brazilian beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Food Science*, 36:493-494, 1971.

MORRIS, H. J. & WOOD, E. R. Influence of moisture content on keeping quality of dry beans. *Food Technology*, 10:225-229, 1956.

MUNETTA, P. The cooking time of dry beans after extended

- storage. *Food Technology*, 18:1240-1241, 1964.
- MUSTAKAS, G. C.; GRIFFIN JR., E. L.; ALLEN, L. E.; SMITH, O. B. Production and nutritional evaluation of extrusion-cooked full-fat soybean flour. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 41(9):607-614, 1964.
- MUSTAKAS, G. C.; ALBRECHT, W. J.; BOOKWALTER, G. N.; Mc GHEE, J. E.; KWOLEK, W. F.; GRIFFIN, E. L. Extruder-processing to improve nutritional quality, flavor and keeping quality of full-fat soy flour. *Food Technology*, 24:1290, 1970.
- NUTRITIONAL BIOCHEMICALS CORPORATION. *ICN Diet Catalog*. ICN Life Sciences Group. Cleveland, 1977/1978.
- PEACE, R. W.; KEATH, M. O.; SARWAR, G.; BOTTING, H. G. Effects of storage on protein nutritional quality of grain legumes. *Journal of Food Science*, 53(2):439-441, 459, 1988.
- PELLET, P. L. & YOUNG, V. R. *Evaluación nutricional de alimentos proteínicos*. Tokyo, La Universidad de las Naciones Unidas, 1980. 175p.
- ROSSEN, J. L. & MILLER, R. C. Food extrusion. *Food Technology*, 27(8):46-53, 1973.
- ROZO, C. Effect of extended storage on the degree of thermal softening during cooking, cell wall components, and polyphenolic compounds of red kidney beans. Tese de doutorado, Cornell Univ., Ithaca, N. Y., 1982.
- RUILOBA, E. S. de. Efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre las características físico-

químicas y nutricionales del frijol (*Phaseolus vulgaris*). Tese de mestrado, Universidade de San Carlos de Guatemala, Guatemala, C. A., 1973.

RUSSEL, M. Extruders fast and furious. *Food Engineering International*, 13(8):468, 1988.

SEIDL, D.; JAFFÉ, M.; JAFFÉ, W. G. Digestibility and proteinase inhibitory action of a kidney bean globulin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 17:1318-1321, 1969.

SGARBIERI, V. C. Composition and nutritive value of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). In: BOURNE, G. H., ed. *World review of nutrition and dietetics*. Basel, Karger, 1989. pp. 132-198.

SGARBIERI, V. C. & GARRUTI, R. S. A review of some factors affecting the availability and the nutritional and technological quality of common dry beans, a dietary staple in Brazil. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 19:202-209, 1986.

SGARBIERI, V. C. & TEZOTO, S.S. Protein nutritive value of a new cultivar of bean (*Phaseolus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38: 1152-1156, 1990.

SGARBIERI, V. C.; ANTUNES, P. L.; ALMEIDA, L. D. Nutritional evaluation of four varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 44: 1306-1308, 1979.

SGARBIERI, V. C.; ANTUNES, P. L.; JUNQUEIRA, R. G. Algumas propriedades físico-químicas e nutricionais das proteínas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) var. Rosinha G 2. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2:1-20, 1982.

- SIEVWRIGHT, C. A. & SHIPE, W. F. Effect of storage conditions and chemical treatments on firmness, in vitro protein digestibility, condensed tannins, phytic acid and divalent cations of cooked black beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Food Science*, 51(4): 982-987, 1986.
- SMITH, O. B. History and status of specific protein-rich foods. Extrusion-processed cereal foods. In: MILNER, M., ed. *Protein-enriched cereal foods for world needs*. St. Paul, American Association of Cereal Chemists, 1969. 140p.
- SMITH, O. B. Extrusion cooking. In: ALTSCHUL, A. M., ed. *New protein foods*. New York, Academic Press, 1976. v. 2B, 86p.
- SWAMMY, R. C. & HANNA, M. A. Extruded snack foods: relationships between ingredient chemical qualities and expansion properties. *IFI*, 3:3-9, 1990.
- VALENZUELA, M. R. C. Fracionamento de feijão Carioca 80 e interferência das frações na utilização pelo rato da proteína da dieta. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1989.
- VAN SOEST, P. J. & WINE, R. H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of the Association of Analytical Chemists*, 50:50-55, 1967.
- VIEGAS, E. A evolução da merenda escolar. *Alimentos & Tecnologia*, 34:36-37, 1991.
- VILELA, E. R. Produção, caracterização e extrusão de

farinha de guandu. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1983.

VINDIOLA, O. L.; SEIB, P. A.; HOSENEY, R. C.

Accelerated development of the hard-to-cook state in beans. *Cereal Foods World*, 31: 538-552, 1986.

YACHNIN, S. & SVENSON, R. H. The immunological and physico-chemical properties of mitogenic proteins derived from *Phaseolus vulgaris*. *Immunology*, 22:871-883, 1972.

Anexo I - Ficha para avaliação sensorial dos grãos cozidos por processo doméstico

FEIJÃO

Nome:.....Data:.....

Prove, por favor, as amostras e responda na escala abaixo, o que achou em função do GOSTO, TEXTURA, ODOR e GOSTO ESTRANHO. Se desejar, faça comentários.

ODOR

NO AMOSTRA	Não Característico	Característico
_____	_____	_____
_____	_____	_____

GOSTO

NO AMOSTRA	Não Característico	Característico
_____	_____	_____
_____	_____	_____

TEXTURA

NO AMOSTRA	Não Característica	Característica
_____	_____	_____
_____	_____	_____

GOSTO ESTRANHO

	Fraco	Forte
AMARGO	_____	_____
QUÍMICO	_____	_____
QUEIMADO	_____	_____
AZEDO	_____	_____
CARUNCHO	_____	_____
OUTRO	_____	_____

COMENTÁRIOS:.....
.....
.....

Anexo II - Ficha de avaliação sensorial das farinhas extrusadas nos testes definitivos

Nome:.....Data:.....

Prove, por favor, as amostras e avalie a intensidade do sabor amargo de acordo com a escala.

GOSTO AMARGO

Nº AMOSTRA	Nenhum	Excessivo
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

COMENTÁRIOS:.....
.....
.....