



T/UNICAMP  
C179e  
BCCL

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

EFEITO DE ALGUMAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE EXTRUSÃO  
NAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E NUTRICIONAIS

DA FARINHA DE FEIJÃO COMUM

Parcer

(Phaseolus vulgaris L.).

*Este exemplar corresponde a redação final da Tese defendida por Normandis Cardoso Filho e aprovada pela Comissão Julgadora em 26.11.93.*

*Luiz F. Lima*

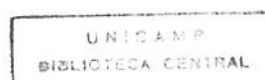
NORMANDIS [CARDOSO FILHO] 179  
Farmacêutico-Bioquímico

*Normandis*  
CESAR F. CIACCO (4.)  
Orientador

*Carlos*  
VALDEMIRO C. SGARBIERI (4.)  
Co-orientador

Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

1993

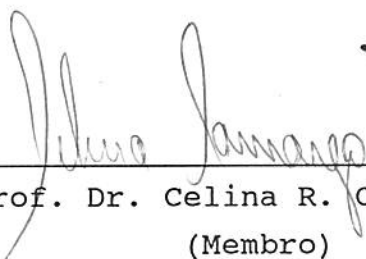


BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. CESAR F. CIACCO  
(Orientador)



---

Prof. Dr. Celina R. O. Camargo  
(Membro)



---

Prof. Dr. Jaime Amaya Farfan  
(Membro)



---

Prof. Dr. Yoon Kil Chang  
(Membro)

Campinas, 26 de novembro de 1993

*O conhecimento que pode ter uma pessoa  
não pode ir além de sua experiência  
(John Locke)*

Aos meus pais: Suelene e Normandis  
À minha avó: Clotilde

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Cesar F. Ciacco pela confiança e orientação durante este trabalho.

Ao prof. Dr. Valdemiro C. Sgarbieri pelo uso do laboratório de Bioquímica Nutricional e pelas sugestões neste trabalho.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos da FEA-UNICAMP pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao prof. Dr. José F. Carvalho e ao estatístico Damião Nóbrega da Silva pelas análises estatísticas dos resultados.

Ao prof. Silvio Luiz Honório pelo armazenamento do feijão.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas pela cessão das sementes de feijão.

Aos amigos Mônica, Teresa, Paula, Luiz, Cecília Noronha, Everardo, Margarida, Cecília Tabuchi, Cristina, Marie, Mabel e Rossana pela amizade e incentivo no decorrer deste trabalho.

Aos amigos do laboratório Maria Alice, Atilio, Luiza, Manuel, Andréia, Lília, Crispy, Ana Lúcia e Stefan pela convivência agradável.

Aos funcionários Elena, Nilo, Eliete, Liana, Ana Maria, Alice, José e Judite, sempre dispostos a colaborar.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e ao Fundo de Apoio ao Ensino e a Pesquisa (FAEP) pela concessão de bolsas de estudo.

À Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (ABIA) pelas cópias xerográficas do "boneco de tese".



## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
SUMMARY.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	3
2.2. EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NO FEIJÃO.....	4
2.3. EXTRUSÃO.....	12
2.3.1. PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	12
2.3.2. EFEITO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NAS PROTEÍNAS.....	13
2.3.2.1. EFEITO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NAS PROTEÍNAS DO FEIJÃO.....	17
2.3.3. EFEITO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NO AMIDO EM GERAL.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. MATERIAL.....	23
3.1.1. MATÉRIA-PRIMA.....	23
3.1.2. REAGENTES.....	23
3.1.3. APARELHOS E EQUIPAMENTOS.....	23
3.2. METODOLOGIA.....	24
3.2.1. TEMPO DE COZIMENTO DAS SEMENTES.....	24
3.2.2. MOAGEM DAS AMOSTRAS.....	24
3.2.3. PROCESSAMENTO.....	26
3.2.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	28
3.2.5. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....	32

3.2.5.1.	TEOR DE UMIDADE.....	32
3.2.5.2.	TEOR DE CINZAS.....	32
3.2.5.3.	TEOR DE PROTEÍNAS.....	32
3.2.5.4.	TEOR DE GORDURA.....	32
3.2.5.5.	TEOR DE FIBRA CRUA.....	32
3.2.5.6.	TEOR DE CARBOIDRATOS.....	32
3.2.6.	CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS.....	33
3.2.6.1.	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA).....	33
3.2.6.2.	ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA).....	33
3.2.6.3.	VISCOSIDADE.....	34
3.2.6.4.	EXPANSÃO DOS PRODUTOS EXTRUSADOS.....	34
3.2.6.5.	TORQUE.....	35
3.2.6.6.	PROPRIEDADES EMULSIFICANTES.....	35
3.2.7.	CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS.....	36
3.2.7.1.	ATIVIDADE HEMAGLUTINANTE (AH).....	37
3.2.7.2.	ATIVIDADE DO INIBIDOR DE TRIPSINA (AIT).....	37
3.2.7.3.	SOLUBILIDADE DAS FARINHAS EM DIFEREN- TES SOLVENTES.....	37
3.2.7.4.	ENSAIOS BIOLÓGICOS.....	38
i.	QUOCIENTE DE EFICIÊNCIA PROTÉICA.....	42
ii.	BALANÇO DE NITROGÊNIO.....	42
3.2.7.5.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1.	CARACTERÍSTICA DA MATÉRIA-PRIMA.....	44
4.1.1.	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL APROXIMADA.....	44
4.1.2.	TEMPO DE COZIMENTO DAS SEMENTES.....	44
4.2.	CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS.....	46
4.2.1.	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	46
4.2.2.	ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA.....	52
4.2.3.	VISCOSIDADE.....	60
4.2.3.1.	VISCOSIDADE INICIAL (VI).....	60
4.2.3.2.	VISCOSIDADE MÁXIMA À TEMPERATURA CONSTANTE (VMTC).....	65

4.2.3.3. VISCOSIDADE MÁXIMA NO RESFRIAMENTO (VMR) .....	70
4.2.4. ÍNDICE DE EXPANSÃO DOS PRODUTOS EXTRUSADOS (IE) .....	75
4.2.5. TORQUE .....	81
4.2.6. PROPRIEDADES EMULSIFICANTES .....	86
4.3. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS .....	90
4.3.1. ATIVIDADE HEMAGLUTINANTE E ATIVIDADE DO INIBI- DOR DE TRIPSINA .....	90
4.3.2. SOLUBILIDADE DAS FARINHAS EM DIFERENTES SOLVENTES .....	92
4.3.3. QUOCIENTE DE EFICIÊNCIA PROTÉICA (PER) .....	97
4.3.4. DIGESTIBILIDADE APARENTE DA PROTEÍNA (DA) .....	102
4.3.5. VALOR BIOLÓGICO APARENTE DA PROTEÍNA (VBA) .....	105
4.3.6. UTILIZAÇÃO LÍQUIDA APARENTE DA PROTEÍNA (NPUA) .....	108
5. CONCLUSÃO .....	112
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	115

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA	1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL EMPREGADO NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DAS FARINHAS DE FEIJÃO EM SEUS VALORES CODIFICADOS.....	29
TABELA	2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL EMPREGADO NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DAS FARINHAS DE FEIJÃO EM SEUS VALORES REAIS.....	30
TABELA	3. TRATAMENTOS EMPREGADOS NA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL.....	36
TABELA	4. COMPOSIÇÃO BÁSICA DAS DIETAS UTILIZADAS NO ENSAIO.....	39
TABELA	5. COMPOSIÇÃO DA MISTURA SALINA USADA NAS DIETAS PARA OS ENSAIOS BIOLÓGICOS.....	40
TABELA	6. COMPOSIÇÃO DA MISTURA VITAMÍNICA USADA NAS DIETAS PARA OS ENSAIOS BIOLÓGICOS.....	41
TABELA	7. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL APROXIMADA.....	45
TABELA	8. VALORES DO IAA ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	47
TABELA	9. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA O IAA.....	48
TABELA	10. VALORES DE ISA ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	53

TABELA 11. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA O ISA.....	54
TABELA 12. VALORES DE VI ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	61
TABELA 13. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA A VI.....	62
TABELA 14. VALORES DE VMTC ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	66
TABELA 15. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA A VMTC.....	67
TABELA 16. VALORES DE VMR ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	71
TABELA 17. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA A VMR.....	72
TABELA 18. VALORES DO ÍNDICE DE EXPANSÃO ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	76
TABELA 19. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA O IE.....	77
TABELA 20. VALORES DE TORQUE ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	82
TABELA 21. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA OS VALORES DE TORQUE.....	83

TABELA 22. VALORES DE ATIVIDADE EMULSIFICANTE ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EX- TRUSÃO.....	87
TABELA 23. VALORES DE ESTABILIDADE DA EMULSÃO ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EX- TRUSÃO.....	88
TABELA 24. ATIVIDADE HEMAGLUTINANTE E ATIVIDADE DO INIBIDOR DE TRIPSINA DAS FARINHAS DE FEIJÃO.....	91
TABELA 25. VALORES DE SOLUBILIDADE DAS FARINHAS DE FEIJÃO EM DIFERENTES SOLVENTES.....	93
TABELA 26. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DE SOLUBILIDADE DAS FARINHAS EXTRUSADAS.....	94
TABELA 27. VALORES DE PER PARA AS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.....	98
TABELA 28. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DO PER.....	99
TABELA 29. VALORES DE Da PARA AS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.....	103
TABELA 30. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DA Da.....	104
TABELA 31. VALOR BIOLÓGICO APARENTE DAS PROTEÍNAS DAS FARI- NHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.....	106
TABELA 32. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DO VBA.....	107

TABELA 33. VALORES DE NPUa PARA AS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.....	109
TABELA 34. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DO NPUa.....	110

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	APARELHO PARA DETERMINAR O TEMPO DE COZIMENTO.....	25
FIGURA 2.	EXTRUSOR BRABENDER UTILIZADO NO PROCESSAMENTO DA FARINHA DE FEIJÃO.....	27
FIGURA 3.	EFEITO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO PARAFUSO (rpm) NOS RESULTADOS DO IAA DAS FARINHAS EXTRUSADAS DE FEIJÃO.....	50
FIGURA 4.	EFEITO DA UMIDADE DA MATÉRIA PRIMA E DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO PARAFUSO NOS RESULTADOS DO ISA DAS FARINHAS EXTRUSADAS DE FEIJÃO.....	56
FIGURA 5.	EFEITO DA UMIDADE DA MATÉRIA PRIMA E DA TEMPERATURA DO PROCESSO NOS RESULTADOS DO ISA DAS FARINHAS EXTRUSADAS DE FEIJÃO.....	57
FIGURA 6.	EFEITO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO PARAFUSO E DA TEMPERATURA DO PROCESSO NOS RESULTADOS DO ISA DAS FARINHAS EXTRUSADAS DE FEIJÃO.....	58
FIGURA 7.	EFEITO DA TEMPERATURA DO PROCESSO NA VISCOSIDADE INICIAL DAS FARINHAS EXTRUSADAS DE FEIJÃO.....	64
FIGURA 8.	EFEITO DA TEMPERATURA DO PROCESSO NA VISCOSIDADE MÁXIMA À TEMPERATURA CONSTANTE DAS FARINHAS EXTRUSADAS DE FEIJÃO.....	69
FIGURA 9.	EFEITO DA TEMPERATURA DO PROCESSO NA VISCOSIDADE MÁXIMA NO RESFRIAMENTO DAS FARINHAS EXTRUSADAS DE FEIJÃO.....	74



FIGURA 10. EFEITO DA UMIDADE DA MATÉRIA PRIMA E DA TEMPERA- TURA DO PROCESSO NO IE DOS EXTRUSADOS DE FEIJÃO.....	80
FIGURA 11. EFEITO DA UMIDADE DA MATÉRIA PRIMA E DA TEMPERA- TURA DO PROCESSO NOS VALORES DE TORQUE DAS FARI- NHAS EXTRUSADAS DE FEIJÃO.....	85
FIGURA 12. CURVAS DE CRESCIMENTO DOS ANIMAIS DURANTE O ENSAIO BIOLÓGICO COM DIETAS PREPARADAS COM FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS, COMPARADAS COM A DIETA PADRÃO DE CASEÍNA.....	101

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo verificar os efeitos que as variáveis do processo de extrusão (temperatura, umidade da matéria prima e velocidade do parafuso) causaram na farinha do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). A variedade empregada neste trabalho foi a IAC Carioca 80 SH, armazenada durante 4 meses à temperatura constante de 37°C e umidade relativa de 60% para promover o envelhecimento (endurecimento) dos grãos.

As variáveis do processo de extrusão foram: temperatura da camisa (100, 120, 150, 180 e 200°C), teor de umidade (17, 18, 22, 26 e 28%) e velocidade do parafuso (110, 120, 140, 160 e 170 rpm). O efeito destas variáveis foi verificado nas características tecnológicas e nutricionais das farinhas de feijão extrusadas, sendo que as respostas observadas foram analisadas por metodologia de superfície de resposta e por análise de variância (ANOVA), respectivamente. Todas as análises estatísticas foram realizadas levando-se em conta o nível de significância de 5%.

As características tecnológicas analisadas foram: índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, propriedades de pasta, índice de expansão, torque e propriedades emulsificantes. Nas condições operacionais empregadas no processo, a velocidade do parafuso afetou as respostas obtidas para índice de absorção de água (IAA) e para índice de solubilidade em água (ISA). O IAA aumentou com o aumento da velocidade do parafuso até um ponto máximo na faixa de 140-150 rpm. O índice de solubilidade em água foi afetado também pela temperatura do processo e pelo teor de umidade da matéria prima. Os maiores valores para ISA foram observados em temperaturas acima de 150°C, teor de umidade entre 18-22% e velocidade do parafuso entre 140-160 rpm.

As viscosidades das pastas (viscosidade inicial, viscosidade máxima à temperatura constante e viscosidade máxima no ciclo de resfriamento) foram influenciadas unicamente pela temperatura do

processo, ao contrário do índice de expansão e do torque que foram influenciados pela combinação dos parâmetros temperatura e teor de umidade. Não foram observados efeitos significativos das variáveis de extrusão sobre as propriedades emulsificantes da farinha do feijão dentro da região experimental analisada.

Na análise das características nutricionais foi verificado que o processo de extrusão diminuiu drasticamente a atividade dos fatores antinutricionais. A atividade dos inibidores de tripsina apresentou uma redução de 90% e a atividade hemaglutinante reduziu 97% após o processo de extrusão. Os testes de solubilidade das proteínas determinados em diferentes solventes mostraram que durante o processo de extrusão as ligações não covalentes do tipo pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas foram as principais causadoras da insolubilidade nas farinhas de feijão extrusadas.

No ensaio biológico ficou evidente que o tratamento do feijão por extrusão apresentou resultados de valor biológico e utilização líquida da proteína (NPU) comparáveis com os da caseína, que foi utilizada como proteína padrão. No entanto, os resultados do quociente de eficiência protéica (PER) e digestibilidade da caseína foram significativamente superiores àqueles das dietas preparadas com farinha de feijão extrusada.

## SUMMARY

The effects of temperature, moisture and screw speed in the extrusion process of aged common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) were verified. The variety used, IAC Carioca 80 SH, was stored during 4 months at 37°C and 60% moisture to speed aging and hardening.

Each of the extrusion variables was used in five different levels: temperature (100, 120, 150, 180 and 200°C), moisture (17, 18, 22, 26 and 28%) and screw speed (110, 120, 140, 160 and 170 rpm). The effects of these variables on the functional properties and nutritive values of the extruded bean flours were analysed by the response surface methodology and analysis variance of ANOVA, respectively.

Water absorption index, water solubility index, pasting properties, expansion index, torque and emulsification properties were investigated. In the extrusion process conditions, the screw speed affected both water absorption and water solubility. The water solubility index was also affected by temperature and moisture.

Paste viscosities were influenced only by temperature and the expansion index and torque were influenced by a combination of temperature and moisture. There were no significant effects of the extrusion process variables on the bean flour emulsification properties.

The extrusion process decreased the activity of the antinutritional factors (trypsin inhibitors and lectins). Protein solubility in different solvents was studied to understand the chemical changes that occurred within the extruder during the heat treatment of bean flour. The results suggested that hydrogen bonds and noncovalent interactions were the main changes occurring.

The heat treatment improved the protein efficiency ratio (PER), biological value, digestibility and net protein utilization (NPU) of the extruded flours proteins, these nutritional parameters were compared to those obtained for casein. On the other hand the casein values for protein efficiency ratio and digestibility were significantly higher than those presented by bean proteins.

## 1. INTRODUÇÃO

Em diversas regiões do planeta, principalmente nos países em desenvolvimento, em particular no continente americano, as leguminosas desempenham um papel importante nas dietas da população. No Brasil, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a leguminosa de maior insumo humano, sendo normalmente consumida após sua maceração em água por uma noite (aproximadamente 12 horas) e cozida.

O Brasil é um dos maiores produtores de feijão do mundo, com uma produção anual de 2 milhões de toneladas métricas (FAO, 1990). No entanto parte desta produção vem sendo perdida devido as condições precárias de estocagem existente em nosso país, onde as temperaturas elevadas e a umidade relativa a que são expostos os grãos, acaba por determinar uma perda da qualidade culinária e nutricional do produto (ANTUNES & SGARBIERI, 1979).

Apesar do seu elevado teor de proteínas e carboidratos, o feijão cru apresenta efeitos tóxicos devido à presença de fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina e hemaglutininas. Por isso é necessário a aplicação de tratamento térmico eficaz que possa melhorar a qualidade nutricional do feijão.

Em anos mais recentes, o processo de extrusão que é um sistema HTST (high temperature short time), tem se tornado um dos processos mais empregados na fabricação de produtos para alimentação humana e animal. A aplicação da extrusão para feijões comestíveis é uma área relativamente nova para investigação. Estudos preliminares têm demonstrado que o amido de feijão tem uma boa expansão e propriedades funcionais, sob determinadas condições do processo de extrusão (GUJSKA & KHAN, 1990 e 1991a).

Levando-se em conta a importância do feijão para a dieta da população brasileira, as perdas que ocorrem na produção devido aos problemas de estocagem, e ainda a versatilidade e vantagens do processo de extrusão, optou-se pela realização deste trabalho com os seguintes objetivos: 1) averiguar os efeitos na farinha de feijão das variáveis do processo de extrusão (temperatura, umidade da matéria prima e velocidade do parafuso); 2) avaliar o processo de extrusão como uma possível alternativa para um melhor aproveitamento desta importante leguminosa, principalmente dos grãos envelhecidos, que são normalmente rejeitados pela população para consumo de forma habitual.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O feijão comum consumido no Brasil é uma planta que pertence a classe *Dicotyledoneae*, família *Leguminosae*, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris*.

A família das leguminosas inclui aproximadamente 600 gêneros com cerca de 13.000 espécies. Contudo somente 20 dessas espécies são importantes economicamente e utilizadas em quantidades significativas para consumo humano. É observado que em diferentes partes do mundo, há uma preferência para o consumo de uma determinada leguminosa. Na África, por exemplo, os gêneros *Vigna* e *Cajanus* são os mais importantes na dieta, enquanto nas Américas do Norte, Central e do Sul destaca-se a espécie *Phaseolus vulgaris* (AYKROYD & DOUGHTY, 1964).

SGARBIERI & GARRUTI (1986) relataram que no Brasil, o consumo diário de feijão é cerca de 50-60g *per capita*, sendo uma das principais fontes de calorias e de proteínas da população brasileira. Esta leguminosa apresenta um conteúdo de proteína no grão na faixa de 18 a 30%, além de quantidades consideráveis de minerais, vitaminas e carboidratos. Alguns fatores, entretanto, limitam o seu valor nutritivo como: a deficiência de aminoácidos sulfurados (metionina, cisteína e cistina); a baixa digestibilidade das suas proteínas; presença de proteínas tóxicas e outros fatores antinutricionais.

A importância das proteínas do feijão para nutrição humana tem sido estudada desde longa data. Informações bioquímicas detalhadas destas proteínas devem servir de base para melhorar a utilização e qualidade nutricional das proteínas. Esta qualidade nutricional é influenciada pela cadeia de aminoácidos que compõem a proteína, grau de digestibilidade, disponibilidade de aminoácidos e a presença de outras substâncias que possuem atividade biológica, por exemplo, inibidores de proteases e lectinas (CHANG, 1982).



A população brasileira tem como hábito o consumo do feijão que apresenta uma certa maciez. Os feijões que apresentam um certo grau de dureza, são considerados envelhecidos e apresentam como característica principal o aumento do tempo de cozimento. Por esta razão os grãos são rejeitados para o consumo, perdendo o seu valor comercial.

O fenômeno do endurecimento dos grãos de feijão depende da umidade do grão, do tempo e das condições de estocagem. Diversos autores (AGUILERA & STANLEY, 1985; JONES & BOULTER, 1983; KON & SANSHUCK, 1981) tentaram explicar o endurecimento dos grãos de leguminosas através da interação de íons divalentes, como o cálcio e substâncias pécicas presentes nos grãos, formando assim complexos insolúveis de pectato de cálcio. Outros autores (RIVERA *et alii*, 1989; SRISUMA *et alii*, 1989; MEJIA, 1982; MOLINA *et alii*, 1976) afirmaram ainda que o fenômeno do endurecimento é causado pela polimerização de compostos fenólicos em lignina ou ainda pela combinação destes compostos com pectinas e/ou proteínas. Apesar da existência de diversos artigos abordando o assunto, o mecanismo responsável pelo aparecimento de grãos duros não está completamente elucidado.

Assim, de maneira geral, a utilização do feijão como alimento deve ser considerada tanto do ponto de vista nutricional, envolvendo a qualidade das suas proteínas, como das restrições impostas pelo hábito da população em consumir feijão com certa maciez.

## 2.2. EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NO FEIJÃO

O tratamento térmico em feijões é feito tanto a nível doméstico (cozimento) como industrial (autoclavagem) com uma ou mais das seguintes finalidades (SGARBIERI, 1987): 1) cozimento dos grãos, que deverá resultar em textura macia, e agradável; 2) produção de sabor característico de feijão cozido; 3) eliminação da toxidez, principalmente pela desnaturação de proteínas tóxicas; 4) gelatinização do amido, resultando em melhoria de textura e produção de caldo viscoso

bastante apreciado; 5) aumento da digestibilidade das proteínas e dos carboidratos, pela desnaturação das proteínas, gelatinização do amido e ruptura dos tecidos pela ação do calor.

No Brasil a prática doméstica comum é a de macerar os grãos (8-12h) na noite que precede o cozimento, seguida da eliminação da água de maceração e cozimento após readição de quantidade suficiente de água. O cozimento poderá ser feito em panela aberta (pressão atmosférica) ou panela de pressão (superior à atmosférica). O tempo de cocção necessário para produzir textura macia e agradável vai depender de uma série de fatores, a saber: 1) natureza da variedade ou cultivar; 2) tempo decorrido desde a colheita; 3) condições a que foram submetidos os grãos durante estocagem; 4) outras condições de preparo como pressão, presença de sais, pH da água de cocção, etc.

Na América Central, o processamento do feijão inclui maceração com água, cozimento e fritura na manteiga ou banha. Aproveitando-se destes processamentos, GOMES BRENES *et alii* (1975) fizeram ensaios biológicos com ratos e observaram que das preparações estudadas, o menor valor nutritivo foi observado no caso do feijão frito, seguidos pelos feijões moído e cozido, respectivamente. No caso do feijão frito, a maior diminuição da qualidade da proteína foi devido as condições drásticas do tratamento térmico.

MOLINA *et alii* (1975) fizeram um estudo da relação entre estocagem, maceração e cozimento utilizando o feijão preto. A amostra foi estocada sob condições ambientes por aproximadamente 6 meses. Apesar da estocagem ter aumentado o conteúdo de metionina e lisina disponível das sementes cruas e processadas, ocorreu, em geral, um efeito negativo na qualidade da proteína. O aumento no tempo de cozimento provocou diminuição significativa na qualidade da proteína das sementes, recentemente colhidas e das estocadas por 3 meses. O mesmo ocorreu com feijões estocados por 6 meses quando sujeitos ao tratamento de maceração por 16 ou 24h antes do cozimento. A maceração aumentou a qualidade da proteína no caso de feijões armazenados por 6 meses, enquanto que a

estocagem teve um efeito negativo na digestibilidade e solubilidade em cloreto de sódio 1N, hidróxido de sódio 0,05N e água, dos feijões processados. Esses autores entretanto, não conseguiram encontrar explicações para a aparente contradição envolvendo o aumento na quantidade de aminoácidos (metionina e lisina disponível) e a diminuição na qualidade da proteína.

HUSSEIN & NOAMAN (1976) estudando o cozimento de feijão verde e de feijão seco observaram que houve um aumento no peso e na umidade dos grãos, mas o teor de sólidos totais e o conteúdo de cinzas diminuíram. Isto pode ter ocorrido devido a absorção de água das amostras e também pela extração de algum nutriente solúvel em água. O processamento não alterou o conteúdo de proteínas em base seca, nem a concentração de aminoácidos, exceto da lisina que teve sua concentração reduzida.

Em um estudo com o feijão do tipo "kidney", EL NAHRY *et alii* (1977), compararam o valor nutritivo e a qualidade da proteína diante de diferentes métodos de preparação e cozimento. O objetivo do trabalho era determinar se o valor nutritivo e a qualidade nutricional da proteína eram afetados ou não pelo processo de maceração antes do cozimento. Esses pesquisadores verificaram que as sementes cozidas após maceração, mostraram um valor de PER mais elevado, do que aquelas cozidas sem passar pela maceração. Resultados semelhantes foram encontrados para proteína livre e para o coeficiente de proteína livre (NPR). O efeito positivo do emprego da maceração antes do cozimento também foi comprovado por MOLINA *et alii* (1975).

KHAN & GHAFOR (1978) investigaram o efeito da maceração, germinação e cozimento de feijão tipo "mash" na qualidade nutricional da proteína. Esses estudos mostraram um aumento na digestibilidade da proteína, no valor do PER e no crescimento dos animais de laboratório em função dos tratamentos empregados. A hidrólise das proteínas durante o tratamento pode ser considerado como um dos fatores que melhoraram a digestibilidade. O NPU (utilização líquida da proteína) para feijões

macerados e cozidos foi melhor do que para o feijão crú, germinado ou apenas cozido. Os resultados obtidos por estes autores foram equivalentes aos resultados obtidos por MOLINA *et alii* (1975) e EL NAHRY *et alii* (1977).

PAK *et alii* (1978) fizeram um estudo sobre toxicidade com farinha de feijão variando o tempo de cozimento (60, 90 e 120 minutos) à pressão ambiente de amostras submetidas ou não à maceração. Foi verificado que embora a maceração não seja indispensável para eliminar a toxicidade do feijão, ela é importante para ajudar no amolecimento das sementes facilitando o cozimento. O tempo de cozimento de 120 minutos foi suficiente para inativar as hemaglutininas do feijão macerado. Por outro lado a qualidade protéica teve seu melhor resultado a 90 minutos de cozimento.

YADAV & LIENER (1978) avaliaram a qualidade nutricional de uma farinha de feijão (tipo "navy") torrada e misturada com proteínas de cereais. A farinha de feijão torrada apresentou um valor para o quociente de eficiência protéica (PER) bem melhor do que os feijões que foram cozidos ou autoclavados da maneira convencional. A mistura da farinha de feijão torrada com vários grãos de cereais (aveia, centeio, "buckwheat", gérmen de trigo e arroz) apresentou, na maioria dos casos, um valor de PER semelhante ao da caseína (padrão), com exceção da mistura com arroz cujo valor de PER foi mais alto que o da caseína.

ANTUNES & SGARBIERI (1980) observaram que o aumento da temperatura do tratamento térmico diminui gradativamente o valor nutritivo das proteínas do feijão, mas aparentemente não afeta a digestibilidade destas proteínas.

O efeito da germinação no valor nutritivo do feijão tipo "mung" foi estudado em amostras cruas e cozidas por NOOR *et alii* (1980). A germinação provocou aumento no conteúdo de água e diminuição no teor de proteínas cruas, lipídeos, fibra crua, cinzas e carboidratos. Os aminoácidos essenciais (metionina, triptofano e lisina), também

Os aminoácidos essenciais (metionina, triptofano e lisina), também diminuíram com a germinação.

PILOSOF *et alii* (1981) trabalhando com farinha de feijão e isolado protéico de feijão, investigaram o efeito do aquecimento em diferentes umidades e intervalos de tempo na capacidade de hidratação das amostras. A capacidade de hidratação aumentou com o tempo do tratamento térmico e com o teor de umidade inicial da matéria prima. O contrário ocorreu com o isolado protéico de feijão, cuja capacidade de hidratação diminuiu com o aumento do tempo de cozimento e com o conteúdo de umidade.

Posteriormente PILOSOF *et alii* (1982), estudaram o efeito do tratamento térmico sobre a capacidade de absorção de água e solubilidade do nitrogênio em amostras de farinha e isolado protéico de feijão. O tratamento térmico aumentou a capacidade de absorção de água para todas as amostras de farinha de feijão, enquanto mudanças significativas na solubilidade do nitrogênio foram encontradas nas amostras de farinha que foram umidificadas antes do tratamento térmico. Os isolados protéicos de feijão não apresentaram os mesmos efeitos que a farinha, ou seja, havia um aumento na capacidade de absorção de água, porém muito pequeno; e foi observado também uma diminuição na solubilidade do nitrogênio. Esses autores concluíram que a diferença entre as amostras é controlada pelos seus principais componentes: amido e proteína. Por outro lado esses autores concluíram que as alterações que ocorrem na capacidade de absorção de água não estão relacionadas com as variações na solubilidade do nitrogênio.

Feijões da variedade "navy" foram submetidos a 4 tratamentos térmicos diferentes por ASPIROZ *et alii* (1983). Dependendo do emprego da maceração ou da adição de bicarbonato de sódio na água do cozimento, o tempo empregado em cada tratamento para obtenção de um produto de qualidade organoléptica aceitável, variou de 14 a 30 minutos. Os resultados obtidos mostraram que a combinação da maceração com a adição de bicarbonato de sódio na água de cozimento, diminuiu o tempo empregado



no cozimento dos feijões. Esses resultados estão de acordo com os obtidos anteriormente por MOLINA *et alii* (1975), EL NAHRY *et alii* (1977) e KHAN & GHAFOR (1978).

BUERA *et alii* (1983) fizeram um estudo sobre a cinética da perda de nitrogênio solúvel e de lisina durante o tratamento térmico de farinha de feijão. A velocidade de perda de nitrogênio solúvel e de lisina, aumentou significativamente até valores de umidade em torno de 30%. Este comportamento evidenciou a existência de uma umidade crítica (cerca de 30%) na qual as perdas de lisina e de nitrogênio solúvel são máximas. Ao analisar os resultados obtidos os autores verificaram que para umidades abaixo de 30%, o nitrogênio solúvel é mais sensível a variação de temperatura do que a lisina disponível. Por outro lado, para umidades mais elevadas (acima de 40%), as perdas de ambos os componentes praticamente se assemelham. Assim, de acordo com a umidade e a temperatura do tratamento térmico empregado, a perda de nitrogênio solúvel pode ser maior ou menor do que a perda de lisina disponível.

GEERVANI *et alii*, reportados por DESPANDHE (1984), investigaram os efeitos de certos processamentos domésticos na qualidade da proteína do feijão preto e do feijão verde. As qualidades das proteínas de legumes tostados, fervidos, cozidos sob pressão, fermentados ou germinados, foram avaliadas com base no valor do PER, absorção de nitrogênio, retenção de nitrogênio e porcentagem de utilização. Os autores observaram um valor significativamente maior do PER para as leguminosas tratadas com aquecimento seco. O PER do feijão preto fermentado ou tratado com vapor foi semelhante ao PER daquele tratado com cozimento sob pressão. Este resultado mostrou que a fermentação não traz benefício adicional à utilização da proteína da leguminosa. GEERVANI *et alii* também observaram que as leguminosas tostadas são menos digeríveis do que as cozidas e que o cozimento sob pressão não teve vantagem sobre aquele sob ebulição. Não foram observadas diferenças significativas no valor biológico das proteínas do feijão preto e verde processados. Outros pesquisadores, tais como ESTEVEZ & LUH

(1985) e KATARIA *et alii* (1989) também verificaram com seus trabalhos os mesmos efeitos do processamento térmico nas proteínas do feijão.

KHOKHAR & CHAUHAN (1986) verificaram, a digestibilidade *in vitro* da proteína de sementes secas de feijão tipo "moth". A digestibilidade melhorou significativamente de 58,69% para 62,06% quando as sementes foram processadas domesticamente com maceração, germinação, cozimento comum e cozimento sob pressão. O cozimento sob pressão das sementes que foram maceradas anteriormente em água pura ou mistura de soluções salinas, foi o que apresentou os melhores resultados. Este estudo apresentou resultados semelhantes aos obtidos por ASPIROZ *et alii* (1983).

Estudando a influência do processamento em 4 variedades polonesas de feijão, KOSSON & BAKOWSKI (1986) verificaram que o conteúdo de proteínas diminuiu durante a maceração e o cozimento, sendo que o aumento na perda de proteína ocorreu com o aumento da temperatura de maceração. Os autores confirmaram assim, o que já havia sido proposto por ANTUNES & SGARBIERI (1980).

JOOD *et alii* (1989) estudaram os efeitos da maceração, cozimento, germinação e autoclavagem na semente de feijão e na digestibilidade da proteína. A autoclavagem foi o processamento mais efetivo, seguido pelo cozimento e germinação. No entanto, quando as sementes foram maceradas e depois cozidas, a digestibilidade foi maior do que nas sementes não maceradas. Estes resultados estão de acordo com os resultados obtidos por KHOKHAR *et alii* (1986).

Foi observado por DHURANDHAR & CHANG (1990) uma diminuição gradual no conteúdo de cisteína com os aumentos da temperatura e tempo de cozimento. Em feijões tipo "navy", esses pesquisadores observaram que ocorria uma destruição inicial de aproximadamente 30% no conteúdo de cisteína. Após 1h de cozimento a 82°C a taxa de destruição foi menor. Este resultado assemelha-se ao encontrado por HUSSEIN & NOAMAN (1976).

HAN & KHAN (1990) estudaram as propriedades funcionais de frações ricas em amido ou proteína de duas leguminosas, feijão e ervilha previamente torrados. Foi observado que o índice de solubilidade de nitrogênio e propriedades espumantes diminuíram com o aumento da temperatura do tratamento térmico, devido a desnaturação das proteínas. O tratamento térmico resultou em um aumento na capacidade de absorção de água e na viscosidade de pasta a frio. A fração rica em amido mostrou maior capacidade de absorção de água, solubilidade do nitrogênio e viscosidade de pasta a frio; enquanto a fração rica em proteína apresentou maior capacidade emulsificante e espumante. Esta diferença entre as frações foi mais marcante no feijão do que na ervilha devido ao baixo teor de amido que esta leguminosa apresenta comparada com a outra. Os resultados obtidos por estes autores estão de acordo com os apresentados por PILOSOF *et alii* (1982).

De acordo com as referências apresentadas ficou evidente o efeito benéfico do tratamento térmico sobre a proteína do feijão. Os diversos tipos de tratamentos térmicos melhoram a qualidade das proteínas do feijão, desde que seja levada em consideração o tempo e a temperatura a que essas proteínas são expostas. A maceração das sementes antes do emprego do tratamento térmico adequado mostrou ser de grande utilidade para melhorar a qualidade nutricional dessa leguminosa.



## 2.3. EXTRUSÃO

### 2.3.1. Processo de Extrusão

Segundo EL DASH (1982), a extrusão termoplástica de alimentos é definida como sendo 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.

CHEFTEL (1986) relatou que o equipamento utilizado no processo de extrusão termoplástica é visto como um reator químico contínuo, processando biopolímeros e mistura de alimentos a altas temperaturas (acima de  $250^{\circ}\text{C}$ ), por relativamente curto tempo de residência (usualmente 1 a 2 min.), a alta pressão e sob alta força de cisalhamento e na maioria dos casos com teores de umidade relativamente baixos (inferiores a 30%).

Um extrusor de alimentos consiste de uma rosca giratória, firmemente encaixada dentro de um cilindro. O alimento a ser extrusado é pré-moido e misturado homogeneamente antes de ser colocado na zona de alimentação da rosca. Em muitos casos, a matéria prima é parcialmente aquecida e seu conteúdo de umidade é elevado numa câmara de pré-condicionamento. O parafuso ao girar, empurra o alimento na direção de uma matriz, revirando-o e pressionando-o contra as paredes do cilindro e transformando-o numa massa viscosa (SEIB, 1976; HARPER, 1979; SMITH, 1979).

Durante este processo o alimento absorve calor por dissipação da energia mecânica aplicada ao parafuso. O aquecimento pode também ser fornecido por vapor, nas camisas do cilindro, por aquecimento elétrico ou mediante aplicação direta de vapor na massa. A medida que o alimento se movimenta, a pressão dentro do cilindro aumenta devido à restrição ao fluxo na zona de descarga do cilindro. Quando o alimento emerge da matriz, a pressão é reduzida e a água superaquecida evapora

instantâneamente, provocando a expansão do produto. A perda de umidade do produto resulta em um resfriamento do alimento, que se solidifica e se firma, geralmente retendo sua forma expandida (HARPER, 1979).

Por este processo obtém-se produtos de vários formatos, densidades, texturas e características de rehidratação. É um sistema versátil energeticamente eficiente e pode com sucesso texturizar uma grande variedade de matérias de teores protéicos variando de 30% a 75%, provenientes de soja (FAUBION 1980), sementes de algodão (TARANTO 1975), fava (GUERIVIERE 1976), amendoim, milho e glúten (HAUCK 1980), sésame e leveduras. Além disto obtém-se efetivamente a inativação de fatores antinutricionais, a volatilização de odores desagradáveis e a pasteurização do produto, o que implica no aumento da vida de prateleira.

#### 2.3.2. Efeito do processo de extrusão nas proteínas

A extrusão termoplástica tem sido muito utilizada na texturização de proteínas vegetais com o objetivo de conseguir-se produtos com características similares à carne, para serem utilizados como extensores da carne (HARPER, 1979).

O cisalhamento mecânico imposto pela rosca, a temperatura usada no processo e a pressão originada causam uma certa orientação das moléculas de proteínas desnaturadas na direção do fluxo e antes da expansão, de forma que vão se formando filmes paralelos na passagem pela matriz. A textura deste produto é fibrosa semelhante ao tecido muscular animal. Embora se saiba que a textura do produto extrusado é decorrente das alterações causadas na proteína, as transformações moleculares que causam estas alterações são ainda uma questão polêmica (HARPER, 1979).

Proteínas nativas são desnaturadas durante a extrusão. As forças que estabilizam a estrutura terciária e quaternária das proteínas

são enfraquecidas pela combinação do aumento da temperatura e atrito no interior do extrusor. Resíduos de aminoácidos ficam então expostos e livres para se combinar ou reagir com açúcares redutores e outros componentes dos alimentos. A exposição de resíduos hidrofóbicos tais como fenilalanina e tirosina reduz a solubilidade das proteínas extrusadas em soluções aquosas. Pontes intermoleculares podem se formar entre moléculas de proteínas antes do material deixar o extrusor. As pontes dissulfeto intermoleculares e as interações hidrofóbicas parecem ser as principais interações que ocorrem, mas ligações peptídicas podem ocorrer durante a extrusão, influenciando nas características do produto extrusado (CAMIRE, 1991).

Como a lisina é o aminoácido limitante em cereais e algumas sementes oleaginosas, o efeito da extrusão neste nutriente tem sido estudado extensivamente. Durante o aquecimento de um alimento, açúcares redutores ou outros compostos carbonílicos podem reagir com o grupo  $\epsilon$ -amino da lisina diminuindo sua disponibilidade biológica. A perda de lisina disponível pode ser minimizada pela remoção dos açúcares redutores tais como lactose ou glicose da formulação, mas amido e sacarose podem ser hidrolisados em açúcares redutores pelo calor gerado no atrito durante extrusão (CAMIRE, 1991).

Este mesmo autor também afirmou que as altas temperaturas durante a extrusão podem aumentar as reações de Maillard, mas este efeito pode ser diminuído pelo aumento do conteúdo de umidade. O efeito do aumento da velocidade da rosca não está muito claro, pois 2 efeitos opostos ocorrem simultaneamente: aumento do atrito pode favorecer a reação, enquanto tempo de residência reduzido pode limitar a exposição do alimento a condições adversas.

KINSELLA (1978) afirmou que, embora o calor melhore o valor nutricional devido à destruição de fatores antinutricionais e devido ao aumento da digestibilidade, o calor excessivo pode destruir alguns aminoácidos essenciais.

Concordando com o autor citado, CHEFTEL (1986), ASP (1987) e CAMIRE *et alii* (1990) reafirmaram que o processamento térmico é também conhecido por diminuir o valor nutricional da proteína pela perda de aminoácidos essenciais através da reação de Maillard ou oxidação. As ligações cruzadas entre aminoácidos podem também reduzir a digestibilidade da proteína, particularmente sob condições alcalinas. A lisinoalanina é o mais comum dos compostos resultantes de reações cruzadas, os quais interferem com o crescimento de ratos em ensaios biológicos.

Além das variáveis do processo como tempo e temperatura, a presença de açúcares redutores e a atividade de água são os principais determinantes para que ocorra a reação de Maillard. Açúcares redutores como por exemplo glicose e frutose, podem ser usados como ingredientes ou formados durante o processo através de hidrólise da sacarose ou do amido. A faixa de atividade de água da reação é intermediária sendo inibida em valores muito altos ou muito baixos (CHEFTEL, 1986; ASP, 1987; CAMIRE *et alii*, 1990).

EGGUM *et alii* (1986) observaram que o processo de extrusão reduziu a quantidade de lisina, digestibilidade da proteína, valor biológico e utilização líquida de proteína (NPU) das proteínas de 2 variedades de arroz. Os autores empregaram temperatura de 150°C e teor de umidade de 15%. O resultado negativo observado pode ser devido ao baixo teor de umidade da amostra.

Trabalhando com sorgo, FAPOJUWO *et alii* (1987) demonstraram a influência das variáveis do processo de extrusão sobre a digestibilidade da proteína. Os autores usaram 3 níveis de temperatura (50, 125 e 200°C) e velocidade do parafuso (50, 125 e 200 rpm). A extrusão melhorou a digestibilidade de 45,9 para 74,6% e de 43,9 para 68,2% para as variedades estudadas. A temperatura foi a variável do processo que mais influenciou na digestibilidade, sendo que a velocidade do parafuso e o teor de umidade da amostra não tiveram efeitos significativos.

GUTIÉRREZ *et alii* (1987) trabalharam com extrusão de misturas de sorgo e soja numa relação 70:30 e sorgo, milho e soja numa relação 30:40:30. A eficiência do tratamento térmico foi determinada mediante o índice de dispersibilidade das proteínas em água e pela atividade ureásica. As proteínas foram desnaturadas e os fatores antinutricionais foram reduzidos sensivelmente (em torno de 90%). De acordo com os resultados obtidos por ensaio biológico, foi verificado que as amostras passaram por tratamento térmico adequado, tanto que as amostras contendo a mistura de sorgo, milho e soja apresentaram digestibilidade verdadeira e valor biológico comparáveis ao da caseína. Estes resultados são semelhantes aos apresentados por FAPOJUWO *et alii* (1987).

CHAUHAN & BAINS (1988) investigaram o efeito do processo de extrusão nas características tecnológicas de misturas de farinha de arroz com farinhas de feijão e soja. As farinhas misturadas foram cozidas por extrusão em três faixas de alimentação (9,2; 15,2 e 27,2 kg/h) e duas temperaturas de saída do extrusor (60°C e 95°C). O índice de expansão dos produtos extrusados aumentou e a densidade diminuiu com o aumento da temperatura, independente da taxa de alimentação. A incorporação de diferentes farinhas de leguminosas a farinha de arroz aumentou a crocância e diminuiu a dureza do produto extrusado.

Em 1989, HÓRVATH *et alii* estudaram o efeito de três temperaturas de extrusão (120, 160 e 200°C) nas propriedades físico-químicas e no valor biológico da farinha de soja não desengordurada. O aumento da temperatura de extrusão resultou em aumento na capacidade de absorção de água e diminuição na capacidade de absorção de óleo, nas propriedades emulsificantes e no índice de solubilidade de nitrogênio. A extratibilidade das proteínas e a quantidade de proteínas solúveis em água e em solução salina diminuíram com o aumento da temperatura. Os resultados evidenciaram que a atividade do inibidor de tripsina e a atividade ureásica diminuíram com o aumento da temperatura. Por outro lado o valor biológico *in vivo* aumentou com a temperatura de extrusão. HÓRVATH *et alii* (1989) com base nos resultados do seu trabalho reafirmaram os efeitos das variáveis do processo de



extrusão sobre as proteínas, de acordo com o que foi relatado por FAPOJUWO *et alii* (1987) e GUTIÉRREZ *et alii* (1987).

De maneira geral o processo de extrusão melhora, a qualidade nutricional das proteínas desde que haja uma relação ótima entre suas variáveis (temperatura, umidade e velocidade do parafuso) e para cada tipo de proteína a ser utilizada como matéria prima. Com isto podemos obter um produto protéico extrusado livre de fatores antinutricionais termolábeis e com um mínimo de perda de qualidade nutricional.

#### 2.3.2.1. Efeito do processo de extrusão nas proteínas do feijão

JEUNINK & CHEFTEL (1979) estudaram o efeito do processo de extrusão nos aminoácidos da soja e do feijão do campo (field bean) e observaram que o conteúdo de cisteína/cistina, estimado por cromatografia de troca iônica, diminuiu aproximadamente 8,5% após a extrusão, enquanto o conteúdo de outros aminoácidos permaneceu inalterado. Foi observado ainda que cerca de 3,2% do resíduo de lisina (calculado pela reação com 1-flúor-2,4-dinitrobenzeno) tornou-se quimicamente não disponível após o processo.

GUALBERTO *et alii* (1982) mostraram que o feijão pré-cozido por extrusão como única fonte protéica da dieta, apresentou qualidade da proteína significativamente inferior às demais dietas que continham soja texturizada ou mesmo em relação à caseína utilizada como padrão.

AGUILERA *et alii* (1984) estudaram o efeito do processo de extrusão em frações de farinha de feijão tipo "navy" obtidas por classificação por ar. A extrusão da fração com alto teor de amido proporcionou um produto expandido com suaves características organolépticas de feijão, quanto ao sabor e aroma. Quando esta fração foi adicionada à farinha de milho, o produto resultante da extrusão apresentou menor capacidade de absorção de água e maior índice de

solubilidade em água do que a farinha de milho. Aumentando a quantidade da fração com alto teor de amido, houve uma diminuição na dureza do extrusado e aumento no índice de expansão. O índice de solubilidade foi baixo para todas as amostras analisadas, indicando desnaturação e insolubilização das proteínas nas frações.

Trabalhando com o processo de extrusão, PHAM & DEL ROSARIO (1984a) estudaram o efeito da temperatura, velocidade do parafuso e conteúdo de umidade nas propriedades das proteínas de algumas leguminosas. De maneira geral altas temperaturas de extrusão associadas a baixos teores de umidade e altas velocidades do parafuso ocasionaram uma diminuição no índice de solubilidade do nitrogênio. Segundo estes pesquisadores essa queda observada nos produtos extrusados pode ser devido à formação de interações não covalentes ou de novas pontes dissulfeto intermoleculares.

Em estudo posterior, PHAM & DEL ROSARIO (1984b) verificaram que o processo de extrusão provocava uma diminuição na quantidade de lisina disponível. A destruição da lisina disponível aumentou com o conteúdo de umidade, sendo que a velocidade do parafuso e o pH também influenciaram na destruição de lisina disponível.

O efeito do processo de extrusão na solubilidade e distribuição da proteína de duas variedades de feijão comum ("navy" e "pinto"), foi estudado por GUJSKA & KHAN (1991b). O processo de extrusão causou aumento na insolubilidade das proteínas, principalmente das frações albumina e globulina. A temperatura de 110°C, dentre as utilizadas no processo (110, 121, 135 e 150°C), teve maior efeito na solubilidade das frações albumina e globulina na variedade de feijão "pinto". Temperaturas mais altas como 135°C e 150°C, causaram maior efeito na solubilidade das proteínas da variedade "navy".

Em outro trabalho, GUJSKA & KHAN (1991a) estudaram algumas propriedades funcionais de extrusados de misturas de fração com alto teor de amido de feijão/fração com alto teor de proteína de feijão e

mistura de fração com alto teor de amido de feijão/farinha de milho. A mistura de matéria prima feijão/milho ocasionou diminuição no índice de expansão e na capacidade de absorção de óleo dos produtos extrusados e causou aumento na densidade da proteína e na capacidade emulsificante dos extrusados, quando comparados com extrusados de farinha de milho ou de fração com alto teor de amido do feijão. Por microscopia de varredura eletrônica foi possível observar que o teor de proteína teve influência pronunciada na microestrutura, tamanho das células de ar (menores) e maciez das paredes celulares (mais finas). Os resultados deste trabalho confirmam os resultados obtidos em trabalhos anteriores relatados por GUJSKA & KHAN (1990) e AGUILERA et alii (1984).

#### 2.3.3. Efeito do processo de extrusão no amido em geral

O amido nativo é constituído de amilose, um polímero linear de unidades de D-glicose unidas por ligações  $\alpha$ -1,4 e amilopectina, uma mistura de polímeros ramificados de D-glicose que contém ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6. Estes polímeros podem variar em tamanho e formato, dependendo da origem botânica do amido (CIACCO & CRUZ, 1982).

Durante o processo de extrusão, os grânulos de amido são sujeitos a relativamente altas pressões (acima de  $10^3$  psi), aquecimento e forças mecânicas de cisalhamento. O extrusor de alimentos pode atingir altas temperaturas (150-200°C) e curtos tempos de residência do material no interior do equipamento (20-200 segundos), sendo portanto um bio-reator que causa gelatinização, liquefação e reações de fragmentação do amido (CHEFTEL, 1986; CAMIRE, 1990; LAI & KOKINI, 1991).

Os principais parâmetros que influenciam as reações que ocorrem dentro do extrusor, são as forças de cisalhamento e o tempo de residência que são definidos pela geometria do extrusor e ainda as variáveis do processo tais como a temperatura, velocidade do parafuso,



composição da matéria-prima (razão amilose-amilopectina) e teor de umidade (LAI & KOKINI, 1991).

O amido tratado pelo processo de extrusão, de acordo com as condições do processo sofre transformações químicas que causam entumescimento e ruptura dos grânulos, modificação da estrutura cristalina provocando solubilidade e viscosidade em água fria. Estas alterações estão diretamente relacionadas com o maior ou menor grau de gelatinização e dextrinização do amido, interferindo em suas propriedades físicas (EL DASH *et alii*, 1983; CHEFTEL, 1986; DIOSADY, 1986; LAI & KOKINI, 1991)

MERCIER & FEILLET (1975) observaram em seus estudos que durante o processo de extrusão ocorre a solubilização do amido de cereais, sem a formação de maltodextrina e o amido solubilizado retém a sua forma macromolecular. No entanto, com o aumento da temperatura e a diminuição do teor de umidade a quantidade de amido solubilizado cresce, levando a conclusão que um maior cisalhamento provoca uma maior dextrinização, aumentando o teor de sólidos solúveis.

OWUSU-ANSAH *et alii* (1983) estudaram os efeitos das variáveis do processo de extrusão (temperatura, umidade e rotação do parafuso) no amido de milho através da gelatinização, do índice de solubilidade em água e do índice de absorção de água do amido. Os autores observaram que o índice de solubilidade em água aumentou com o aumento da temperatura e umidade das amostras, enquanto o índice de absorção de água aumentou com o aumento da temperatura até um máximo e diminuiu a seguir, devido a excessiva dextrinização. Todas as medidas físico-químicas indicaram um certo grau de hidrólise do amido durante o processo e aumento do grau de gelatinização, com o aumento da temperatura e da porcentagem de umidade.

Os efeitos das variáveis do processo de extrusão nas características de absorção de água, solubilidade em água e grau de gelatinização dos produtos extrusados podem ser observados nos trabalhos

de: FAUBION & HOSENEY , 1982; GOMEZ & AGUILERA, 1984; DIOSADY *et alii* , 1985; BATTACHARYA & HANNA, 1987a e 1987b; CHINNASWAMY & HANNA, 1988a, 1988b e 1990; ARTZ *et alii* 1990; AVIN *et alii*, 1992; MARQUES, 1992. Todos estes trabalhos apresentam dados que se assemelham aos apresentados no trabalho de OWUSU-ANSAH *et alii* (1983) e comprovam a importância da relação temperatura, umidade e rotação do parafuso nas características diferenciadas dos produtos extrusados. Assim, de acordo com a aplicação desejada para os produtos extrusados pode-se escolher os parâmetros mais adequados para o processo de extrusão.

O efeito do cozimento por extrusão na disponibilidade do amido para digestão em produtos de trigo, foi estudado por BJORCK *et alii* (1984) *in vitro* e *in vivo*. A hidrólise *in vitro* foi medida usando amilase salivar e a disponibilidade *in vivo* foi avaliada medindo os níveis de glicose e insulina em ratos. O cozimento por extrusão de farinha especial e farinha integral de trigo originou um amido mais susceptível à ação da amilase salivar do que o tratamento do amido por 20 minutos em água fervente. O aumento na susceptibilidade enzimática do amido foi devido provavelmente à gelatinização que ocorreu, à ruptura da estrutura celular, ao aumento da superfície do amido e à inativação de inibidor de  $\alpha$ -amilase endógena. No experimento *in vivo*, a razão de absorção do amido, analisado pela glicose do plasma, foi similar para amostras aquecidas e para amostras extrusadas sob condições intermediárias. Entretanto, sob condições mais severas de extrusão, houve um aumento significativo de glicose no plasma.

Segundo MASON & HOSENEY (1986), a viscosidade da pasta quente é afetada pela temperatura da matriz e por uma interação entre a velocidade da rosca e a temperatura da camisa. A viscosidade da pasta fria, por outro lado é afetada por uma interação entre a umidade da amostra e a taxa de alimentação no extrusor.

Usando frações com alto teor de amido de três tipos de feijão ("navy", "pinto" e "garbanzo") GUJSKA & KHAN (1990) observaram que o índice de absorção de água aumenta até a temperatura de 132°C e à

temperatura de 150°C diminui, ocorrendo também decomposição e degradação do amido de feijão tipo "navy". Todos os produtos extrusados apresentaram o índice de absorção de água três vezes em relação às farinhas cruas. Os autores propõem que a gelatinização do amido, desnaturação de proteínas e o entumescimento de fibra crua podem ter sido as causas do aumento do índice de absorção de água nos produtos extrusados. AVIN *et alii* (1992) que trabalharam com extrusão de feijão tipo "red", observaram resultados semelhantes a estes apresentados.

Através de uma combinação de 15 condições diferentes do processo de extrusão com variáveis que incluíram teor de umidade (20, 25 e 30%), rotação do parafuso (100, 200 e 300) e temperatura (100, 150 e 200°C), WEN *et alii* (1990) investigaram o efeito do processo de extrusão nas propriedades do amido e das proteínas de uma farinha de milho. Os autores verificaram que a solubilidade dos carboidratos não foi significativamente afetada. As proteínas tornaram-se mais resistentes à solubilização por dimetil sulfóxido após a extrusão, e através de análise eletroforética foi demonstrado que não houve fragmentação das mesmas, como ocorreu com os carboidratos. Isto explica a diferença encontrada na solubilidade do amido e da proteína, ou seja o amido, dependendo das condições do processo de extrusão, sofrerá fragmentações, ao contrário do que ocorre com as proteínas, que podem se recombinar durante o processo, formando agregados insolúveis.

Pelo observado na literatura, concluímos que o processo de extrusão é eficaz na gelatinização do amido e no aumento da sua digestibilidade. No entanto, as condições empregadas no processo devem ser estudadas adequadamente para que não haja um excesso de tratamento que prejudique as características de qualidade esperadas no produto final.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL

##### 3.1.1. Matéria-prima

Para a realização deste trabalho foram utilizadas sementes de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) da variedade IAC Carioca 80 SH, cedidas pelo Instituto Agronômico de Campinas, provenientes da Estação Experimental de Votuporanga, Lote 321/91.

As sementes foram armazenadas durante 4 meses em temperatura controlada de 37°C e 60% de umidade relativa em estufa, para acelerar o envelhecimento (endurecimento) dos grãos de acordo com ANTUNES & SGARBIERI (1979). O grau de envelhecimento das sementes foi medido pelo tempo de cozimento das mesmas.

##### 3.1.2. Reagentes

A pureza dos reagentes usados para as análises químicas está de acordo com as especificações exigidas pelos métodos de análises.

##### 3.1.3. Aparelhos e Equipamentos

Além dos equipamentos de uso comum em laboratório foram também usados os seguintes:

- Moinho de rolos, marca Brabender, modelo Quadrumatic Senior. Brabender, OHG, Duisburg, Germany.
- Moinho de facas marca Tigre, tipo CV2, potência 0,75 c.v., 3800 rpm, São Paulo- SP, Brasil.
- Extrusor de laboratório marca Brabender, modelo GNF 101412, tipo rosca sem fim única, com camisa ranhurada e parafuso de 38 cm de comprimento com 1,9 cm de diâmetro e taxa de compressão 1:3, acoplado ao motor com registrador Do-Corder.
- Batedeira Planetária, marca Arno.

- Estufas com circulação forçada de ar, marca Fanem, modelo 320/2 e 330.
- Viscoamilógrafo, marca Brabender, tipo 801300.
- Centrífuga marca Fanem, modelo 204 NR
- Destilador de proteínas, marca Tecnal, modelo TE 036 E
- Espectrofotômetro Beckman DU-70
- Agitador horizontal marca Tecnal, modelo TE 320
- Liquidificador marca Arno.

### 3.2. METODOLOGIA

#### 3.2.1. Tempo de cozimento das sementes

O tempo de cozimento das sementes foi determinado em um aparelho especialmente construído, conforme o protótipo proposto por BÜRR *et alii* (1968). A Figura 1 ilustra esse equipamento.

As sementes previamente maceradas em água destilada durante 16 horas na proporção peso/volume de 1:4, foram cozidas em água fervente sob pressão atmosférica.

O tempo de cozimento foi determinado quando metade mais uma das pontas das hastes de metal penetraram nos grãos. A análise foi determinada em triplicata.

#### 3.2.2. Moagem das amostras

Para obter a farinha de feijão, as sementes passaram pelo moinho de facas, seguido pelas seções de quebra e redução do moinho de rolos Quadromatic Senior da Brabender.



FIGURA 1. APARELHO PARA DETERMINAR O TEMPO DE COZIMENTO

### 3.2.3. Processamento

Após os processos de moagem as amostras de farinha crua foram acondicionadas em sacos plásticos e estocadas em geladeira até serem processadas. Conhecendo-se o teor de umidade da farinha crua, as amostras foram condicionadas ao teor de umidade estimado para cada tratamento, embaladas em sacos plásticos e deixadas em repouso por 24 horas, a fim de se obter um teor de umidade uniforme. Antes do processo de extrusão, foram verificados novamente o teor de umidade de cada amostra. De acordo com as condições operacionais do extrusor Brabender, ilustrado na Figura 2, foram escolhidas as seguintes variáveis independentes para este trabalho:

Temperatura (2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> zonas): 100°C, 120°C, 150°C, 180°C e 200°C

Umidade: 17%, 18%, 22%, 26% e 28%

Velocidade do parafuso: 110, 120, 140, 160 e 170 rpm.

Os parâmetros que não foram modificados durante o processo de extrusão são mencionados a seguir:

- Temperatura (1.<sup>a</sup> zona): 80°C
- Taxa de compressão: 3:1
- Taxa de alimentação: 60-70g/min.
- Diâmetro da matriz: 3mm.



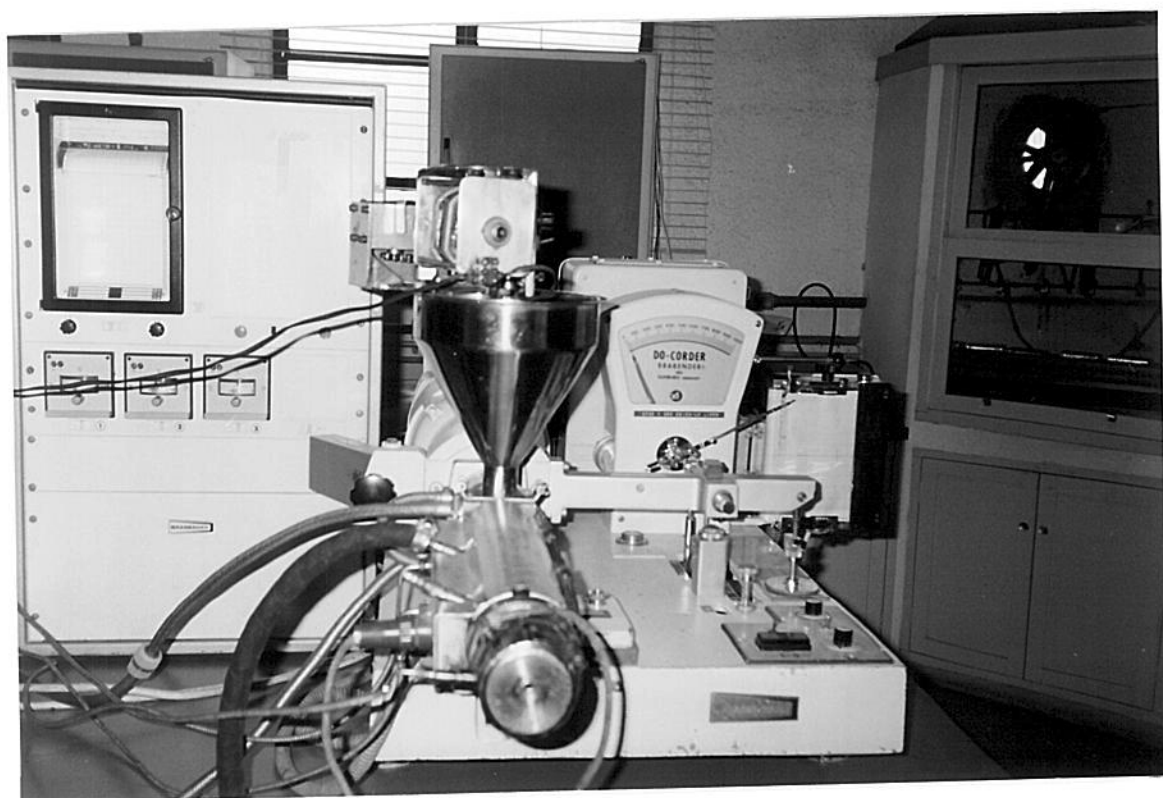


FIGURA 2. EXTRUSOR BRABENDER UTILIZADO NO PROCESSAMENTO DA FARINHA DE FEIJÃO.



### 3.2.4. Delineamento Experimental

Para avaliar o efeito dos parâmetros do processo de extrusão nas características tecnológicas da farinha de feijão foi empregado um delineamento central composto rotacional de modelo de 2.<sup>a</sup> ordem aplicável à Metodologia de Superfície de Resposta proposta por BOX & HUNTER (1957).

Os parâmetros do processo, estabelecidos como variáveis independentes, foram estudados em 5 níveis codificados como:  $-\alpha$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $+1$  e  $+\alpha$ . Estes níveis foram definidos pela fórmula:

$$xi = \frac{Xi - \bar{Xi}}{\Delta Xi}$$

Onde:

$xi$  = valor codificado da variável  $Xi$

$Xi$  = valor real da variável

$\bar{Xi}$  = valor real da variável no ponto central

$\Delta Xi$  = valor do intervalo de variação de  $Xi$

Baseado na Metodologia de Superfície de Resposta, foi estabelecido um delineamento central composto rotacional de 2.<sup>a</sup> ordem, onde pretendeu-se avaliar o efeito de 3 variáveis em 3 níveis diferentes. Este delineamento apresenta também 2 níveis de variáveis axiais que são codificados como  $(-\alpha$  e  $+\alpha)$ . O valor de  $\alpha$  depende do número de pontos da porção fatorial ( $F=2$ ) do delineamento e do número de variáveis independentes ( $K=3$ ), sendo o valor definido pela equação:

$$\alpha = F^{1/4} = (2^K)^{1/4} = 1,681$$

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram escolhidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão. O modelo experimental utilizado é apresentado em seus valores codificados e reais nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL EMPREGADO NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO, EM SEUS VALORES CODIFICADOS.

Processamento	Variáveis de Extrusão		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	-1	-1	-1
2	0	0	$-\alpha$
3	0	$+\alpha$	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	-1	-1	1
7	0	0	0
8	0	$-\alpha$	0
9	0	0	0
10	$-\alpha$	0	0
11	0	0	0
12	1	-1	1
13	$+\alpha$	0	0
14	0	0	$+\alpha$
15	1	1	1
16	0	0	0
17	1	-1	-1
18	0	0	0
19	0	0	0
20	1	1	-1
21	-1	1	1
22	-1	1	-1
23	0	0	0

$x_1, x_2, x_3$  - valores codificados das variáveis independentes

$x_1$  = Temperatura do processo ( $^{\circ}\text{C}$ )

$x_2$  = Umidade da matéria-prima (%)

$x_3$  = Velocidade do parafuso (rpm)

TABELA 2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL EMPREGADO NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO EM SEUS VALORES REAIS.

Processamento	Variáveis de Extrusão		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	120	18	120
2	150	22	110
3	150	28	140
4	150	22	140
5	150	22	140
6	120	18	160
7	150	22	140
8	150	17	140
9	150	22	140
10	100	22	140
11	150	22	140
12	180	18	160
13	200	22	140
14	150	22	170
15	180	26	160
16	150	22	140
17	180	18	120
18	150	22	140
19	150	22	140
20	180	26	120
21	120	26	160
22	120	26	120
23	150	22	140

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> - valores reais das variáveis independentes

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= Velocidade do parafuso (rpm)

Para analisar o efeito das variáveis independentes, em níveis diferentes, foi utilizado o Modelo de Superfície de Resposta. Esta metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes. A resposta obtida (variável dependente) é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados, portanto a resposta pode ser escrita como se segue:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + E$$

Onde:

$Y_i$  = é a função resposta genérica

$X_1, X_2, X_3$  = são os níveis codificados das variáveis independentes

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots$  = coeficientes estimados pelo método dos mínimos quadrados

$E$  = mede o erro experimental.

O processamento dos dados e a análise estatística foram efetuados com auxílio de um computador tipo AT/286 DX e com o uso do sistema SAS<sup>®</sup>-Statistical Analysis System, versão 6.04, que forneceu as tabelas de análise de variância para os testes de significância dos modelos postulados. A partir destas tabelas, foram escolhidos os efeitos significativos em níveis não superiores a 5%, e foi feito o ajuste final dos modelos seguindo o critério de modelos hierarquicamente bem formulados, que consiste em incluir no modelo além dos efeitos significativos todos os outros efeitos hierarquicamente inferiores (PEIXOTO, 1987). Por exemplo, quando os efeitos de interação entre as variáveis e/ou efeitos quadráticos foram significativos, então o modelo ajustado foi composto destes últimos mais o acréscimo dos seus efeitos lineares.

Em todos os ajustes dos modelos, não se encontrou através de análise dos resíduos nenhuma forte evidência de violação das suposições básicas requeridas pelas análises de variância (normalidade, independência e homogeneidade das variâncias dos erros).

### 3.2.5. Composição Centesimal

#### 3.2.5.1. Teor de umidade

O teor de umidade da farinha de feijão foi determinado pelo método da AACC No. 44-15 A (1983).

#### 3.2.5.2. Teor de cinzas

A quantidade de cinzas da amostra foi determinada pelo método da AACC No. 08-03 (1983).

#### 3.2.5.3. Teor de proteínas

O teor de proteínas foi avaliado pelo método semi-micro Kjeldahl conforme a AACC No. 46-13 (1983). O conteúdo total de proteínas foi obtido usando o fator  $N \times 6,25$ .

#### 3.2.5.4. Teor de gordura

O teor de gordura foi determinado por extração com éter etílico, com auxílio de extrator contínuo do tipo soxhlet, segundo a AACC No. 30-25 (1983).

#### 3.2.5.5. Teor de fibra crua

A determinação de fibras foi feita pelo método de KAMER & GINKEL (1952), fazendo-se a digestão da amostra com ácido tricloroacético e ácido nítrico.

#### 3.2.5.6. Teor de carboidratos

A quantidade de carboidratos presentes na amostra foi calculado por diferença.

### 3.2.6. Características tecnológicas

#### 3.2.6.1. Índice de absorção de água das farinhas (IAA)

Este índice foi determinado pelo método descrito por KITE *et alii* (1957) modificado por ANDERSON *et alii* (1969), no qual uma amostra de farinha foi suspensa em água, em um tubo de centrífuga previamente pesado. A suspensão foi mantida a 30°C com agitação intermitente, em seguida esta suspensão foi centrifugada por 10 min. Após a retirada do sobrenadante que foi evaporado em estufa a 105°C até peso constante, foi determinado o peso do resíduo sólido. O IAA foi expresso como a relação entre o peso do resíduo e o peso seco da amostra, do qual se subtrai o peso do resíduo de evaporação do sobrenadante.

$$IAA = \frac{PRC}{PSA - PRE}$$

Onde:

PRC= peso do resíduo de centrifugação

PSA= peso seco da amostra

PRE= peso do resíduo de evaporação

#### 3.2.6.2. Índice de solubilidade em água das farinhas (ISA)

O índice de solubilidade foi calculado pela relação entre o peso do resíduo de evaporação (calculado no item anterior) e o peso seco da amostra.

$$ISA = \frac{\text{peso do resíduo de evaporação}}{\text{peso seco da amostra}}$$

### 3.2.6.3. Viscosidade

Os viscoamilogramas das farinhas extrusadas e da farinha crua foram obtidos em um viscoamilógrafo Brabender de acordo com AACC No. 22.10 (1983). As determinações foram feitas em uma concentração de 15% (p/v) e foram feitas as correções de umidade das farinhas para 14% de umidade.

Devido a formação de grumos nas amostras extrusadas, todas as amostras foram homogeneizadas em liquidificador Arno a velocidade mínima durante 30 segundos, somente então o material foi quantitativamente transferido para o copo do viscoamilógrafo.

A temperatura inicial foi de 25°C sendo que o aumento de temperatura deu-se gradualmente à razão de 1,5°C/minuto até a temperatura final de 95°C, permanecendo nesta temperatura por 20 minutos. O resfriamento foi feito também gradualmente à razão de 1,5°C/minuto, até uma temperatura final de 50°C.

Para a interpretação dos viscoamilogramas foram usados os seguintes parâmetros:

- a) Viscosidade inicial: é o valor da viscosidade na temperatura inicial em unidades amilográficas.
- b) Viscosidade máxima: é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva em unidades amilográficas.
- c) Temperatura da viscosidade máxima: é a temperatura em °C em que ocorreu o ponto de viscosidade máxima.
- d) Viscosidade máxima a temperatura constante: é o valor máximo da viscosidade em unidades amilográficas obtido durante os 20 minutos à temperatura de 95°C.
- e) Viscosidade máxima no resfriamento: é o valor máximo da viscosidade em unidades amilográficas obtido após ter atingido a temperatura de 50°C no ciclo de resfriamento.

#### 3.2.6.4. Expansão dos produtos extrusados (EP)

O índice de expansão do produto foi obtido pela relação entre o diâmetro da amostra e o diâmetro da matriz.

$$EP = \frac{\text{diâmetro da amostra}}{\text{diâmetro da matriz}}$$

#### 3.2.6.5. Torque

O torque (trabalho desenvolvido) foi medido pelo registrador Do-Corder acoplado ao extrusor (Figura 2). À medida que as amostras foram passadas pelo extrusor, foi registrado em gráficos a força necessária para impulsionar as amostras em direção à matriz. Os resultados foram expressos em unidades de torque (g.m).

#### 3.2.6.6. Propriedades emulsificantes

As propriedades emulsificantes abrangem a atividade emulsificante (AE) e a estabilidade da emulsão (EE), sendo ambas determinadas segundo metodologia descrita por DENCH *et alii* (1981). A amostra a ser analisada (2,5g) foi dispersa em água destilada e o pH ajustado para 7,0 com hidróxido de sódio 0,1N ou ácido clorídrico 0,1N. Após agitação magnética por 15 minutos ajustou-se novamente o pH e completou-se o volume para 50 mL. Com a adição de 50 mL de óleo de soja a mistura foi homogeneizada em liquidificador a máxima velocidade. A emulsão resultante foi dividida em dois tubos de centrífuga de 50 mL. Um deles foi centrifugado a 1200 X g em centrífuga Fanem modelo 204 NR e o outro foi aquecido por 30 minutos a 80°C em banho controlado e só então foi centrifugado. A AE e EE foram calculadas pela respectiva relação:



$$AE = \frac{\text{altura da camada emulsificada}}{\text{altura total do fluido}} \times 100$$

$$EE = \frac{\text{altura da camada emulsificada aquecida}}{\text{altura total do fluido}} \times 100$$

### 3.2.7. Características nutricionais

Devido às condições disponíveis para a realização do ensaio biológico, foi necessário restringir o número de tratamentos a serem estudados. Portanto, de acordo com testes preliminares foram estudados 6 tratamentos para elaboração das dietas e avaliação das características nutricionais das farinhas extrusadas de feijão. A velocidade do parafuso foi mantida a 140 rpm, porque foi o ponto intermediário do delineamento experimental (Tabela 2). A Tabela 3 mostra as condições de temperatura, umidade e velocidade do parafuso que foram utilizados no estudo das características nutricionais.

TABELA 3. TRATAMENTOS EMPREGADOS NA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL

Tratamentos	Temperatura (°C)	Umidade (%)	rpm
1	120	22	140
2	120	26	140
3	150	22	140
4	150	26	140
5	180	22	140
6	180	26	140

#### 3.2.7.1. Atividade hemaglutinante

A atividade hemaglutinante específica foi obtida pelo inverso da maior diluição capaz de promover aglutinação nas condições do ensaio, sendo expresso por 1 mg de proteína. A atividade hemaglutinante total (AT) representa o título por 100g de amostra (JUNQUEIRA, 1981).

A solução da proteína em estudo foi sequencialmente diluída obtendo-se de 10-12 diluições. Essas diluições foram aplicadas em placas de aglutinação, juntamente com uma suspensão a 4% de hemáceas de coelho tripsinizadas. As placas foram deixadas em repouso antes da interpretação dos resultados, de acordo com os padrões:

- (++++)- formação de grumo único, grande
- (+++)- formação de vários grumos grandes e poucos pequenos
- (++)- formação de vários grumos pequenos com várias células livres
- (-)- células que se levantam de um botão liso.

#### 3.2.7.2. Atividade do inibidor de tripsina

A amostra analisada foi misturada com hidróxido de sódio 0,01 N por 3 horas com agitação. Após o preparo da amostra, diferentes quantidades da mesma foram transferidas para tubos de ensaio onde foram reagidas com BAPNA (benzoil-arginil-p-nitroanilida) e ácido acético, sendo o resultado da reação lido em espectrofotômetro, segundo AACC no. 71-10 (1983).

Uma unidade de tripsina (UT) foi arbitrariamente definida como aumento de 0,01 unidade de absorbância a 410 nm por 10 mL da mistura de reação nas condições do teste. Atividade do inibidor da tripsina é definida como o número de unidades de tripsina inibida (UTI).

#### 3.2.7.3. Solubilidade das farinhas em diferentes solventes

As medidas de solubilidade das farinhas extrusadas e da farinha crua foram feitas em sistemas com diferentes solventes conforme

HAGER *et alii* (1984): uréia 8M, cloreto de sódio 0,25 N, água, 2-mercaptoetanol 0,1 M e dodecil sulfato de sódio 1,5%.

Para a extração das proteínas das farinhas foi usado o método AACC No. 46-23 (1983) modificado: as amostras foram pesadas em uma relação 1:40 com o solvente e agitadas por 2 horas a 30°C em agitador horizontal Tecnal Modelo TE 320. Em seguida as amostras foram centrifugadas a 3000 X g por 20 minutos em centrífuga de laboratório Fanem modelo 204 NR. As amostras foram filtradas em papel de filtro comum e a proteína solúvel foi dosada no sobrenadante pelo método de LOWRY (1951). As análises foram efetuadas em triplicata.

#### 3.2.7.4. Ensaaios biológicos

Os ensaios biológicos foram realizados no Biotério do Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição - DEPAN da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP - Campinas.

Foram usados 42 ratos machos, da linhagem Wistar, recém desmamados (aproximadamente 21 dias), que foram distribuídos em blocos casualizados em 7 grupos, sendo que 1 grupo foi utilizado como controle e recebeu durante os ensaios, dieta a base de caseína.

As dietas empregadas nos ensaios biológicos foram preparadas conforme descrito nos métodos da AOAC (1975) e suas composições são demonstradas na Tabela 4.

TABELA 4. COMPOSIÇÃO BÁSICA DAS DIETAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS

Componentes	%
Proteínas	10,0
Gordura	8,0
Sais minerais (Tabela 5)	4,0
Vitaminas (Tabela 6)	2,0
Fibras (celulose)	1,0
Carboidratos*	q.s.p.100,0

\* composto de 25% de açúcar refinado comercial e 75% de amido puro de milho.

TABELA 5. COMPOSIÇÃO DA MISTURA SALINA USADA NAS DIETAS  
PARA OS ENSAIOS BIOLÓGICOS.

Componentes	%
Carbonato de cálcio	29,974
Fosfato dipotássico	32,222
Fosfato mono cálcico	7,493
Sulfato de Magnésio	10,191
Cloreto de sódio	16,735
Citrato férrico	2,747
Iodeto de potássio	0,079
Sulfato de manganês	0,499
Cloreto de zinco	0,024
Sulfato de cobre	0.029

Fonte: HEGSTED *et alii* (1941)

TABELA 6. COMPOSIÇÃO DA MISTURA VITAMÍNICA USADA NAS DIETAS PARA OS ENSAIOS BIOLÓGICOS.

Componentes	%
Vit. A, concentrado (200.000 UI/g)	2,948
Vit. D, concentrado (400.000 UI/g)	0,163
$\alpha$ -tocoferol	3,276
Ác. ascórbico	29,486
Inositol	3,276
Cloreto de colina	49,144
Menadiona	1,474
Ác. p-aminobenzóico	3,276
Niacina	2,948
Riboflavina	0,655
Cloridrato de piridoxina	0,655
Cloridrato de tiamina	0,655
Pantotenato de cálcio	1,965
Biotina	0,013
Ác. fólico	0,058
Vit. B12	0,001

Fonte: NUTRITIONAL BIOCHEMICAL CORPORATION (1978)

#### i. Quociente de eficiência protéica (PER)

O PER mediu o quociente do ganho de peso em gramas pela quantidade de proteína ingerida também em gramas, de um grupo de animais submetidos a uma dieta contendo a proteína em estudo, conforme o método descrito pela AOAC (1975) Nos. 43.183 e 43.187. Os animais foram mantidos em gaiolas individuais por um período de 28 dias, recebendo água e alimento *ad libitum* e foram pesados regularmente para controle. Períodos de claro e escuro foram alternados de 12 em 12 horas automaticamente.

$$\text{PER} = \frac{\text{ganho de peso (g)}}{\text{prot. consumida (g)}}$$

#### ii. Balanço de Nitrogênio

Este ensaio foi realizado durante 5 dias consecutivos, sendo que o período de adaptação já estava sendo feito, porque os animais já estavam no ensaio do PER. Os animais foram transferidos das gaiolas de crescimento utilizadas no PER para gaiolas metabólicas individuais, especialmente construídas para evitar contaminação das fezes e urina com partículas de alimento. No final do ensaio foram dosados o teor de nitrogênio das fezes e urina e a quantidade de nitrogênio ingerido. Com estes resultados podemos obter valores aparentes de digestibilidade, valor biológico e NPU (utilização líquida de proteína), isto porque não foi utilizado no ensaio uma dieta aprotéica que possibilitaria medir o nitrogênio endógeno eliminado e então calcular os valores verdadeiros de digestibilidade, valor biológico e NPU.



- Digestibilidade aparente (Da) foi determinada segundo PELLET & YOUNG (1980):

$$Da = \frac{Ni - Nf}{Ni} = \frac{NA}{Ni} \times 100$$

Onde: Ni - nitrogênio ingerido

Nf - nitrogênio fecal

NA - nitrogênio absorvido

- Valor biológico aparente (VBa) foi determinado pelo descrito em MITCHEL (1923)

$$VBa = \frac{NA - Nu}{Ni - Nf} = \frac{Nr}{NA} \times 100$$

Onde: Nu - nitrogênio urinário

Nr - nitrogênio retido

- Utilização líquida aparente da proteína (NPUa) foi determinado conforme BENDER & MILLER (1953):

$$NPUa = VBA \times Da$$

#### 3.2.7.5. Análise Estatística

Os resultados obtidos no ensaio biológico foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as diferenças observadas foram analisadas pelo teste de Tukey, de acordo com GOMES (1987).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA PRIMA

#### 4.1.1. Composição centesimal aproximada

A Tabela 7 mostra a composição centesimal da farinha crua de feijão. Os resultados apresentados são semelhantes aos reportados para feijão carioca por SGARBIERI (1989) e estão de acordo com os dados apresentados por EL NAHRY *et alii* (1977), ASPIROZ *et alii* (1983) e SALUNKHE *et alii* (1985) para feijão comum.

#### 4.1.2. Tempo de cozimento das sementes

O tempo de cozimento das sementes antes e após o armazenamento por 4 meses a 37°C e 60% de umidade relativa, foi medido à pressão ambiente no equipamento citado no ítem 3.2.1.. As sementes novas apresentaram tempo de cozimento de 35 minutos, sendo que aquelas que passaram pelo armazenamento apresentaram tempo de cozimento de 150 minutos. Estas determinações foram feitas em triplicata.

Segundo SGARBIERI (1987), o feijão quando submetido a estocagem sofre perdas na sua qualidade incluindo: diminuição da capacidade de reidratação; aumento no tempo de cozimento; alteração da textura, da cor e do gosto. Além destas alterações que acarretam uma perda no valor comercial do grão, devem também ser consideradas perdas na qualidade nutricional.

TABELA 7. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL APROXIMADA  
DA FARINHA DE FEIJÃO

Composição*	(%)
Proteína (b.s.)	25,31%
Lipídios (b.s.)	2,81%
Cinzas (b.s.)	3,87%
Fibras cruas (b.s.)	5,28%
Carboidratos** (b.s.)	51,69%

\* análises feitas em triplicata

\*\* calculado por diferença

Teor de umidade (11,04%)

b.s. base seca

## 4.2. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

### 4.2.1. Índice de absorção de água (IAA)

De acordo com GOMEZ & AGUILERA (1983) o IAA depende da disponibilidade dos grupos hidrofílicos para interagir com as moléculas de água e da capacidade de formação de gel das macromoléculas.

CHOU & MORR, reportados por HAN & KHAN (1990), afirmaram que a capacidade de absorção de água pela proteína é função de diversos parâmetros, incluindo: tamanho, forma, características conformacionais, balanço hidrofílico-hidrofóbico nas moléculas de proteína, propriedades termodinâmicas do sistema (energia de ligação, tensão interfacial, etc.), pH, pressão de vapor, temperatura, presença ou ausência de surfactantes e solubilidade das moléculas da proteína.

Os valores encontrados para IAA de acordo com as condições experimentais deste trabalho são mostrados na Tabela 8. No ajuste da superfície quadrática completa, como modelo de predição para o IAA, em função das variáveis de extrusão, foram considerados os efeitos significativos a níveis não superiores a 5%, e os outros efeitos hierarquicamente inferiores a estes. A Tabela 9 apresenta a análise de variância e a estimativa dos efeitos da regressão para o IAA. O modelo ajustado para o IAA é significativo ao nível de  $p=0,0581$  e explica cerca de 24% da variação total das respostas ( $R^2= 0,2476$ ). A equação 1 portanto, serve para predizer os valores de IAA de acordo com as variáveis e o intervalo de variação estudados.

$$\text{IAA} = -1883,3432 + 34,7983\text{rpm} - 0,1219\text{rpm}^2 \quad (\text{equação 1})$$

TABELA 8. VALORES DE IAA ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			IAA* (%)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	582,42
2	120	26	120	602,60
3	120	18	120	503,98
4	150	22	140	607,00
5	150	22	140	621,87
6	150	28	140	666,07
7	150	22	140	658,02
8	180	26	160	641,81
9	120	26	160	629,65
10	150	22	140	562,38
11	150	22	140	627,00
12	150	22	110	423,23
13	150	22	140	418,13
14	150	22	170	436,70
15	150	22	140	503,90
16	180	26	120	580,00
17	120	18	160	579,66
18	150	22	140	647,10
19	150	17	140	569,80
20	150	22	140	640,77
21	180	18	120	575,57
22	180	18	160	557,33
23	200	22	140	535,60
Farinha crua de feijão				366,87

X<sub>1</sub>= temperatura de extrusão (°C)

X<sub>2</sub>= umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= velocidade do parafuso (rpm)

\*= média de 3 determinações

TABELA 9. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA O IAA

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P > F
Modelo	2	29157,2792	14578,6396	3,29	0,0581
Resíduo	20	88585,5862	4429,2784		
Total	22	117742,8475			
$R^2$	0,2476				
C.V.	11,6223				
Média IAA	572,6295				

Efeitos	Estimativa dos efeitos	T	P >  T
Intercepto	-1883,3432	-1,95	0,0657
rpm	34,7983	2,51	0,0208
rpm <sup>2</sup>	-0,1219	-2,47	0,0228

Analisando a Tabela 8 observa-se que os valores de IAA encontrados para farinhas extrusadas foram bem maiores que o valor de IAA para farinha crua de feijão. Este resultado indicou que em qualquer um dos tratamentos, ocorreu gelatinização do amido, pois o IAA está relacionado com a capacidade de absorção de água dos constituintes da matéria prima e grânulos de amido gelatinizados absorvem muito mais água do que os grânulos no estado natural. Em decorrência da desnaturação da proteína solúvel em água, também poderia ocorrer um aumento do IAA, pois a massa do gel de amido seria acrescentada a da proteína desnaturada. Por outro lado, a desnaturação das proteínas insolúveis em água poderia levar a diminuição no IAA.

Conforme observado na Tabela 9, os efeitos linear e quadrático da velocidade de rotação do parafuso foram significativos ( $p=0,02$ ) para IAA das farinhas extrusadas de feijão. Nas condições empregadas no processo, não foram verificados efeitos significativos da temperatura do processo e do conteúdo de umidade da matéria prima no IAA das farinhas de feijão extrusadas.

A Figura 3 ilustra o efeito das diversas velocidades do parafuso empregadas no processo de extrusão, nos valores de IAA. O aumento das velocidades de rotação provocou aumento no IAA até um ponto máximo (aproximadamente 600%). A partir deste máximo, um aumento na velocidade do parafuso passou a ter um efeito negativo no IAA, sugerindo uma degradação das moléculas do amido, diminuindo a capacidade de absorção de água do extrusado. O valor máximo do IAA ocorreu com velocidade do parafuso ao redor de 140 rpm, que representa o ponto intermediário entre as várias velocidades usadas no processo.



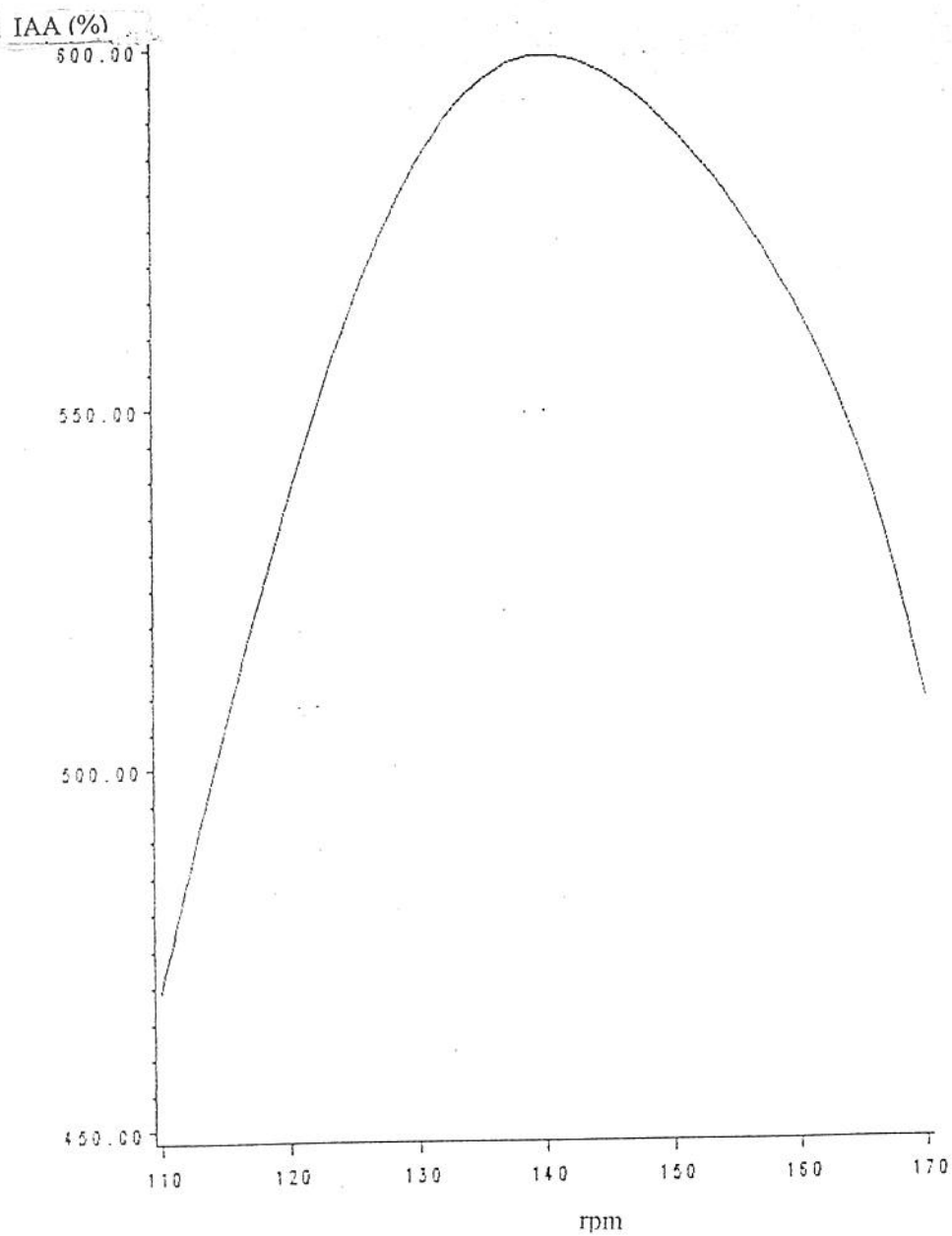


FIGURA 3. EFEITO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO PARAFUSO (rpm) NOS RESULTADOS DE IAA DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.

Contrariamente ao citado na literatura, não foi observado o efeito da temperatura do processo e do teor de umidade da matéria prima no IAA das farinhas extrusadas de feijão. OWUSU-ANSAH *et alii* (1983) observaram que em extrusão de amido de milho, a interação entre a umidade e a temperatura foi o efeito mais significativo nas respostas do IAA. Geralmente o IAA aumentava com o aumento da temperatura e da rpm até um ponto máximo e depois tendia a diminuir progressivamente. Este fato foi observado em diversos trabalhos: MERCIER & FEILLET (1975), FAUBION *et alii* (1982), GOMEZ & AGUILERA (1984), PHAM & DEL ROSARIO (1984a), CHAUHAN & BAINS (1988), HORVATH *et alii* (1989), GUJSKA & KHAN (1990), AVIN *et alii* (1992) e MARQUES (1992).

Algumas hipóteses podem ser levantadas para tentar explicar o fato de que neste trabalho não foi observado um efeito significativo da temperatura e do teor de umidade do processo nos valores do IAA. Pode-se supor que nas condições mais amenas do processo de extrusão tenha ocorrido um elevado grau de gelatinização do amido e de desnaturação das proteínas. Outra hipótese provável é a de que o aumento da temperatura poderia provocar ao mesmo tempo um aumento na extensão da gelatinização do amido e na sua solubilização, fazendo com que o IAA permanecesse constante em função da temperatura. Uma terceira hipótese seria a de que o aumento da temperatura provocou uma maior gelatinização do amido e uma desnaturação mais extensiva das proteínas insolúveis em água. Estes dois fenômenos teriam efeitos contrários nos valores do IAA, fazendo com que este parâmetro não se alterasse com a elevação da temperatura.

#### 4.2.2. Índice de solubilidade em água (ISA)

O aumento ou a diminuição observado no ISA dos produtos extrusados em relação às farinhas cruas está relacionado com o grau de gelatinização e/ou dextrinização dos grânulos de amido. Quanto mais severas foram as condições do processo de extrusão, maior o grau de amido dextrinizado com consequente aumento do ISA (MERCIER & FEILLET, 1975).

A Tabela 10 mostra os valores de ISA encontrados para as farinhas extrusadas e para a farinha crua de feijão. Foi ajustada uma superfície quadrática completa para os valores de ISA em função das variáveis independentes. Foram considerados significativos os efeitos em níveis não superiores a 5% e os efeitos hierarquicamente inferiores a estes. Na Tabela 11 são encontradas a análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado e as estimativas dos efeitos da regressão para ISA. O modelo ajustado para explicar o efeito observado em ISA é altamente significativo ( $p = 0,0001$ ) e explica 82% das variações das respostas ( $R^2 = 0,8249$ ). Portanto, a equação 2 serve para predizer os valores de ISA dentro das condições utilizadas neste trabalho.

$$\text{ISA} = -119,1622 + 4,6326U + 0,2046T + 0,8256\text{rpm} - 0,0344U*\text{rpm}$$

(equação 2)

TABELA 10. VALORES DE ISA ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			ISA* (%)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	15,26
2	120	26	120	16,74
3	120	18	120	10,61
4	150	22	140	21,72
5	150	22	140	21,82
6	150	28	140	22,70
7	150	22	140	23,00
8	180	26	160	27,53
9	120	26	160	17,74
10	150	22	140	22,10
11	150	22	140	21,70
12	150	22	110	22,76
13	150	22	140	20,74
14	150	22	170	20,94
15	150	22	140	21,47
16	180	26	120	29,73
17	120	18	160	25,31
18	150	22	140	23,67
19	150	17	140	20,00
20	150	22	140	21,45
21	180	18	120	31,00
22	180	18	160	37,15
23	200	22	140	32,20
Farinha crua de feijão				30,48

X<sub>1</sub>= temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= velocidade do parafuso (rpm)

\* = média de 3 determinações

TABELA 11. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA ISA.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P > F
Modelo	4	601,7443	150,4360	21,21	0,0001
Resíduo	18	127,6450	7,0913		
Total	22	729,3893			
$R^2$	0,8249				
C.V.	11,6145				
Média ISA	22,9278				

Efeitos	Estimativas dos efeitos	T	P >  T
Intercepto	-119,1622	-3,22	0,0048
Umidade	4,6326	2,79	0,0120
Temperatura	0,2046	8,49	0,0001
rpm	0,8256	3,16	0,0005
Umidade*rpm	-0,0345	-2,93	0,0090

Observando a Tabela 10 fica evidente a diferença entre os resultados encontrados para ISA da farinha crua e das farinhas extrusadas. Com exceção dos tratamentos mais drásticos (21, 22 e 23) em que a temperatura atingiu 180°C e 200°C e o teor de umidade foi de 18% e 22%, respectivamente, os demais tratamentos apresentaram ISA inferiores aos da farinha crua. Estes resultados indicaram que na grande maioria dos tratamentos o efeito resultante da insolubilização das proteínas foi maior do que aquele proporcionado pela solubilização do amido.

Na análise da Tabela 11, verifica-se a significância dos efeitos das variáveis umidade ( $p= 0,0120$ ), temperatura ( $p= 0,0001$ ) e velocidade do parafuso ( $p= 0,0005$ ), sobre o ISA. As Figuras 4, 5 e 6 mostram o comportamento da superfície ajustada para o ISA como função da umidade, temperatura e velocidade do parafuso nas farinhas de feijão extrusadas.

A Figura 4 mostra que o ISA aumentou com os aumentos da velocidade do parafuso e do teor de umidade e diminuiu concomitantemente com a diminuição destas variáveis. Em regiões de baixo teor de umidade, aumentando-se a velocidade até em torno de 150 rpm o ISA também aumentou e a partir deste ponto há uma tendência de queda e depois um crescimento dos valores do ISA. Já na região de baixa rpm, o aumento da umidade aumentou o ISA até próximo de um teor de umidade de 24%. A partir daí, ocorreu uma ligeira queda nos valores do ISA seguido de novo aumento. Os valores máximos registrados para o ISA foram encontrados nas regiões de alto teor de umidade e elevada velocidade de rotação. O inverso foi encontrado para os valores mínimos de ISA obtidos em regiões de baixo teor de umidade e velocidade de rotação. Estes valores máximos e mínimos observados para o ISA concordam com os resultados observados para o IAA. Na região onde ocorreu os valores máximos de ISA, a alta velocidade de rotação provocou maior fragmentação dos grânulos do amido aumentando o ISA.

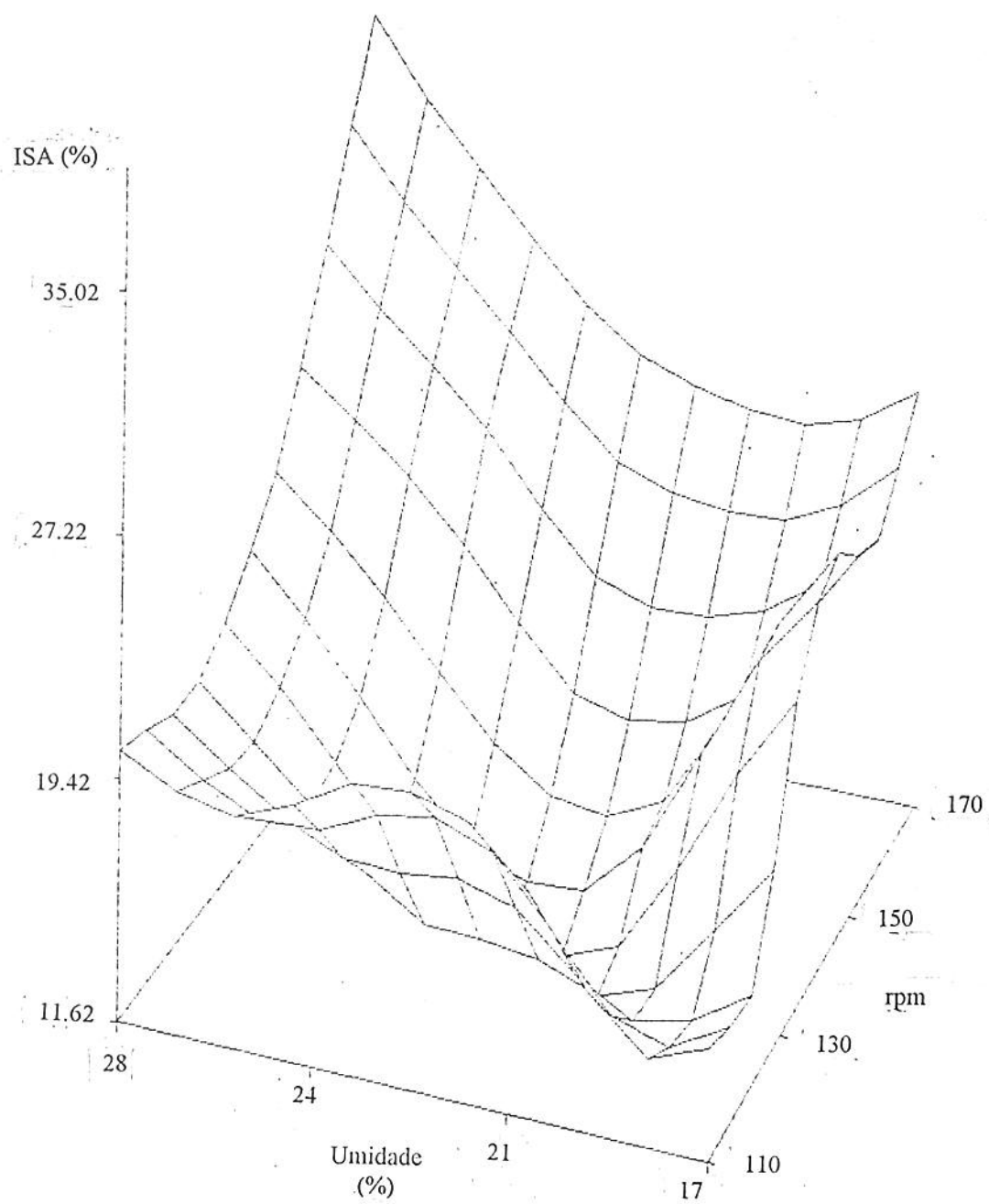


FIGURA 4. EFEITO DA UMIDADE DA MATÉRIA PRIMA E DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO PARAFUSO NO ISA DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.

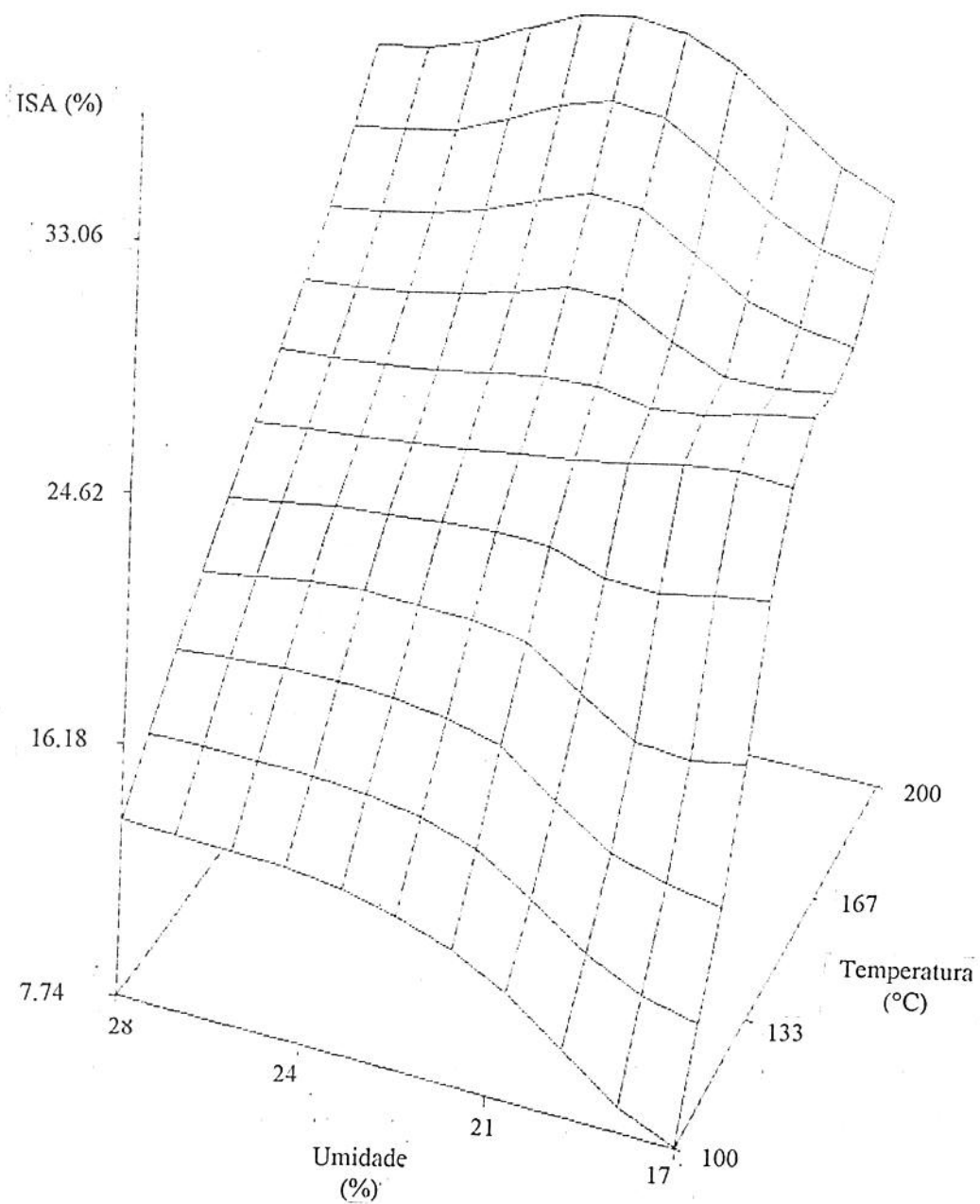


FIGURA 5. EFEITO DA UMIDADE DA MATÉRIA PRIMA E DA TEMPERATURA DO PROCESSO NO ISA DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.



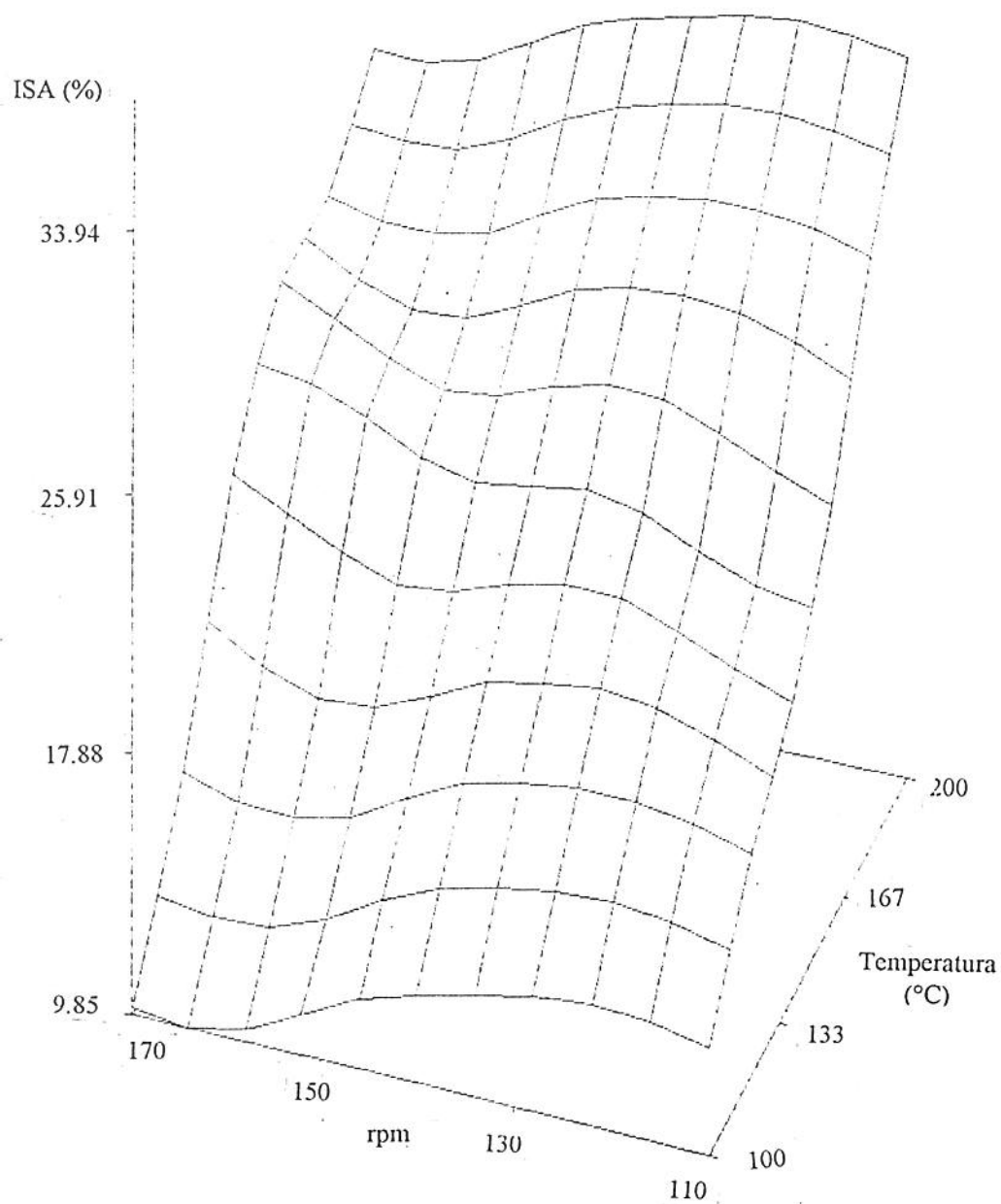


FIGURA 6. EFEITO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO PARAFUSO E DA TEMPERATURA DO PROCESSO NO ISA DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.

A Figura 5 mostra o efeito da umidade da matéria prima e da temperatura nos valores do ISA. Os máximos valores do ISA foram observados no final do intervalo de temperatura ( $200^{\circ}\text{C}$ ) e em teor de umidade intermediário de aproximadamente 23%. Os valores mínimos foram encontrados a  $100^{\circ}\text{C}$  em um teor de umidade de 17%. Assim pode-se concluir que em temperaturas elevadas ocorreu desintegração do grânulo de amido e conseqüente aumento do ISA. De uma maneira geral, em qualquer faixa de umidade analisada, o aumento da temperatura provocou aumento nos valores do ISA.

A Figura 6 mostra o efeito da velocidade de rotação do parafuso e da temperatura do processo nos valores do ISA. Os valores máximos do ISA foram observados em alta temperatura ( $200^{\circ}\text{C}$ ) e velocidade de rotação ao redor de 130 rpm. Os valores mínimos do ISA foram encontrados a baixa temperatura ( $100^{\circ}\text{C}$ ) e alta rotação (170 rpm), porque neste caso, ocorreu diminuição do tempo de retenção das farinhas dentro do extrusor, minimizando o efeito da temperatura sobre os grânulos gelatinizados. Em todas as temperaturas estudadas o aumento da velocidade de rotação provocou um aumento do ISA com posterior tendência de queda dos valores, ao passo que em todas as velocidades de rotação analisadas, o aumento da temperatura implicou em aumento do ISA.

Resultados semelhantes aos apresentados quanto ao efeito das variáveis de extrusão nas respostas para ISA, podem ser observados nos trabalhos de: MERCIER & FEILLET (1975); GOMEZ & AGUILERA (1983 e 1984); RICHMOND & SMITH (1985); CHAUHAN & BAINS (1988) E CHINNASWAMY & HANNA (1990a). Todos estes trabalhos demonstram que a intensidade do tratamento térmico está diretamente relacionado com os valores do ISA.

Os resultados apresentados no ISA, em comparação com as observações feitas para o IAA, indicam que ou a desintegração dos grânulos em função do aumento da temperatura, foi acompanhado por um correspondente aumento da gelatinização dos mesmos, de modo a não alterar o IAA, ou esta desintegração (e conseqüente solubilização) foi acompanhada por correspondente desnaturação das proteínas. Estas

hipóteses são compatíveis com as variações do IAA e do ISA em função da temperatura, no entanto, não pode ser afirmado que a aceitação de uma delas implique em exclusão da outra.

#### 4.2.3. Viscosidade

##### 4.2.3.1. Viscosidade inicial (VI)

Viscosidade inicial ou viscosidade de pasta a frio, se refere a viscosidade da suspensão do amido em água à temperatura ambiente (25°C). Para amidos nativos, sem tratamento, esta viscosidade é praticamente zero. Entretanto, amidos gelatinizados absorvem água rapidamente e formam uma pasta à temperatura ambiente sem precisar de aquecimento. A viscosidade inicial depende, portanto, do grau de gelatinização do amido e de possíveis degradações moleculares (EL DASH *et alii*, 1983).

Os valores encontrados para viscosidade inicial nas condições empregadas no processo de extrusão são mostradas na Tabela 12. No ajuste da superfície quadrática completa para explicar os efeitos das variáveis nas repostas de VI foram considerados significativos os efeitos apresentados em níveis não superiores a 5% e os efeitos hierarquicamente inferiores a estes. Na Tabela 13 são apresentadas a análise de variância para o modelo ajustado e as estimativas dos efeitos da regressão para VI. O modelo ajustado é significativo ( $p = 0,0039$ ) e explica 42% da variação das repostas ( $R^2 = 0,4255$ ). A equação 3 pode prever os valores de VI levando-se em conta as variáveis e o intervalo de variação estudados.

$$VI = -876,9295 + 15,3447T - 0,0453T^2 \quad (\text{equação 3})$$

TABELA 12. VALORES DE VISCOSIDADE INICIAL ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			VI (U.A.)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	220
2	120	26	120	300
3	120	18	120	290
4	150	22	140	360
5	150	22	140	420
6	150	28	140	370
7	150	22	140	480
8	180	26	160	320
9	120	26	160	280
10	150	22	140	380
11	150	22	140	480
12	150	22	110	520
13	150	22	140	400
14	150	22	170	400
15	150	22	140	380
16	180	26	120	340
17	120	18	160	280
18	150	22	140	440
19	150	17	140	450
20	150	22	140	380
21	180	18	120	480
22	180	18	160	280
23	200	22	140	480
Farinha crua de feijão				0

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= Velocidade do parafuso (rpm)

(U.A.)= Unidades amilográficas

TABELA 13. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA VI.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P > F
Modelo	2	62256,9682	31128,4841	7,41	0,0039
Resíduo	20	84038,6839	4201,9342		
Total	22	146295,6521			

$R^2$	0,4255
C.V.	17,0780
Média VI	379,5652

Efeitos	Estimativas dos efeitos	T	P >  T
Intercepto	-876,9295	-2,13	0,0461
T	15,3447	2,77	0,0117
$T^2$	-0,0453	-2,48	0,0223

Observando a Tabela 12, fica evidente a diferença de VI das amostras de farinhas extrusadas em relação a farinha crua de feijão ( $VI=0$ ). Como todas as amostras extrusadas apresentaram VM (viscosidade máxima) no mesmo valor de VI, a temperatura de VM foi  $25^{\circ}\text{C}$  para as farinhas extrusadas. A farinha crua de feijão apresentou VM de 90 U.A. em uma temperatura de  $95^{\circ}\text{C}$ .

Como foi mostrado na Tabela 13, as respostas encontradas para VI nas condições de extrusão estudadas sofreram os efeitos significativos linear ( $p=0,0117$ ) e quadrático ( $p=0,0223$ ) da temperatura do processo. Por outro lado, não foram encontrados efeitos significativos para as variáveis umidade e velocidade do parafuso. Pode ser observado na Figura 7 o efeito da temperatura do processo nas respostas de VI para as farinhas extrusadas.

O aumento da VI foi proporcional ao aumento da temperatura do processo até um máximo em torno de  $170^{\circ}\text{C}$ . De acordo com os resultados observados, o efeito negativo de temperaturas superiores a  $170^{\circ}\text{C}$  nos valores da VI pode ser devido a desintegração dos grânulos, preponderando sobre a extensão da gelatinização. Este resultado é consistente com o aumento do ISA em função do aumento da temperatura do processo e compatível com o IAA, na hipótese de que a desnaturação das proteínas compense a desintegração dos grânulos de amido, fazendo com que o IAA não altere em função da temperatura. HAN & KHAN (1990) encontraram resultados semelhantes aos apresentados para VI. Estes autores trabalharam com frações amiláceas de farinhas de feijão obtidas por classificação por ar.

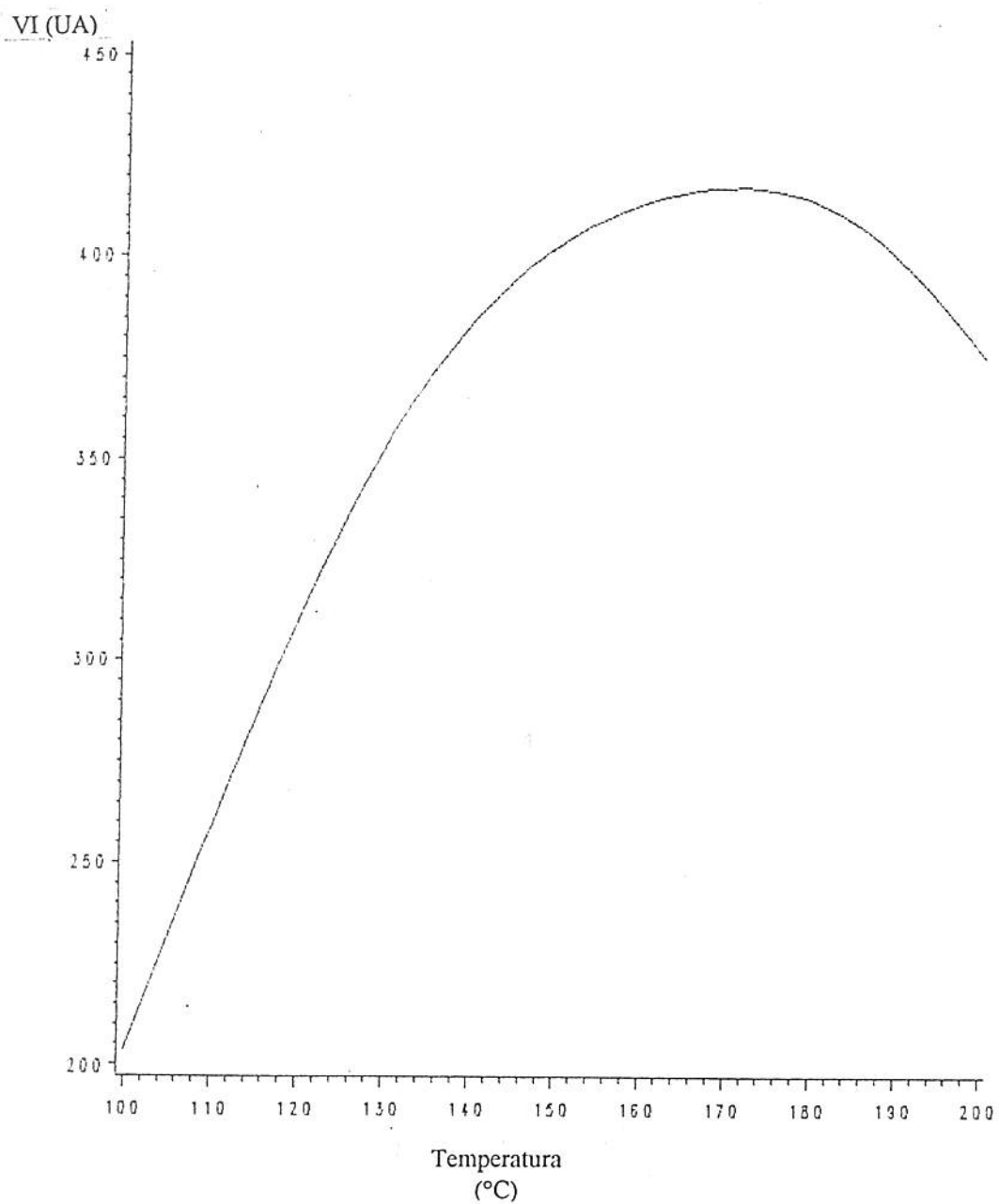


FIGURA 7. EFEITO DA TEMPERATURA DO PROCESSO NA VISCOSIDADE INICIAL (VI) DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.

#### 4.2.3.2. Viscosidade máxima à temperatura constante (VMTC)

O fenômeno da gelatinização do amido envolve a quebra das pontes de hidrogênio que mantém a estrutura granular e pode ser devido a elevação da temperatura do meio ou ação mecânica. Os grânulos gelatinizados absorvem água a temperatura ambiente e após entumescimento são mais susceptíveis à ação mecânica. Assim a viscosidade máxima (VMTC) das pastas de amido pré-gelatinizados é geralmente mais baixa que a viscosidade inicial (EL DASH *et alii*, 1983).

Os valores de VMTC obtidos, em função das condições operacionais empregadas, podem ser vistos na Tabela 14. Aos valores de VMTC foi ajustada uma superfície quadrática completa em função das variáveis empregadas no processo. Os efeitos significativos observados não ultrapassaram o nível de 5% e para composição do modelo foram considerados também os efeitos hierarquicamente inferiores a estes. São apresentadas na Tabela 15 a análise de variância (ANOVA) e a estimativa dos efeitos da regressão para VMTC. O modelo proposto é altamente significativo ( $p = 0,0001$ ) e explica 70% da variação das respostas encontradas para VMTC ( $R^2 = 0,7099$ ). A equação 4 pode ser aplicada para predizer os valores de VMTC desde que sejam utilizadas as variáveis e o intervalo de variação estudados.

$$VMTC = -919,7283 + 16,3176T - 0,0582T^2 \quad (\text{equação 4})$$



TABELA 14. VALORES DE VMTC ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			VMTC (U.A.)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	160
2	120	26	120	190
3	120	18	120	160
4	150	22	140	210
5	150	22	140	220
6	150	28	140	260
7	150	22	140	230
8	180	26	160	130
9	120	26	160	170
10	150	22	140	240
11	150	22	140	220
12	150	22	110	230
13	150	22	140	240
14	150	22	170	260
15	150	22	140	240
16	180	26	120	120
17	120	18	160	180
18	150	22	140	180
19	150	17	140	250
20	150	22	140	200
21	180	18	120	70
22	180	18	160	60
23	200	22	140	70
Farinha crua de feijão				170

X<sub>1</sub>= Temperatura de extrusão (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= Velocidade do parafuso (rpm)

(U.A.)= Unidades amilográficas

TABELA 15. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA VMTC.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P > F
Modelo	2	58730,9636	29365,4818	24,48	0,0001
Resíduo	20	23990,7754	1199,5387		
Total	22	82721,7391			
$R^2$	0,7099				
C.V.	18,5685				
Média VMTC	186,5217				

Efeitos	Estimativa dos efeitos	T	P >  T
Intercepto	-919,7283	-4,17	0.0005
T	16,3176	5,52	0.0001
$T^2$	-0,0582	-5,95	0,0001

A Tabela 14 mostra que as farinhas de feijão extrusadas apresentaram valores de VMTC inferiores aos valores de VI apresentados na Tabela 12, ao contrário do que ocorreu para a farinha crua de feijão, onde a VMTC foi maior do que a VI. Estes resultados indicaram que a gelatinização dos grânulos de amido tornou os grânulos mais susceptíveis aos danos mecânicos, daí os resultados apresentados para VMTC terem sido inferiores aos resultados obtidos para VI. Por outro lado, a ausência de pico durante o aquecimento indicou que a elevação da temperatura no amilógrafo não afetou sensivelmente o entumescimento dos grânulos.

Como visto na Tabela 15, as respostas de VMTC encontradas para as variáveis de extrusão estudadas, sofreram significativos efeitos lineares ( $p= 0,0001$ ) e quadráticos ( $p= 0,0001$ ) da temperatura do processo. Nestas respostas não foram encontrados efeitos do teor de umidade nem da velocidade do parafuso ao nível de 5% de probabilidade. A Figura 8 mostra o efeito da temperatura do processo nas respostas de VMTC para as farinhas de feijão extrusadas.

Analisando-se a Figura 8, pode-se notar que as respostas para VMTC foram influenciadas pela temperatura. A VMTC aumentou com o aumento da temperatura do processo até aproximadamente  $140^{\circ}\text{C}$ . O entumescimento dos grânulos com o aumento da temperatura de extrusão está diretamente relacionado com as viscosidades inicial e máxima, assim como, a desintegração dos grânulos com altas temperaturas de extrusão, observada nos resultados obtidos para ISA, provocaram diminuição destas viscosidades. Entretanto, estes resultados concordam também com o IAA no aspecto de que a desintegração dos grânulos é compensada pela insolubilização das proteínas.

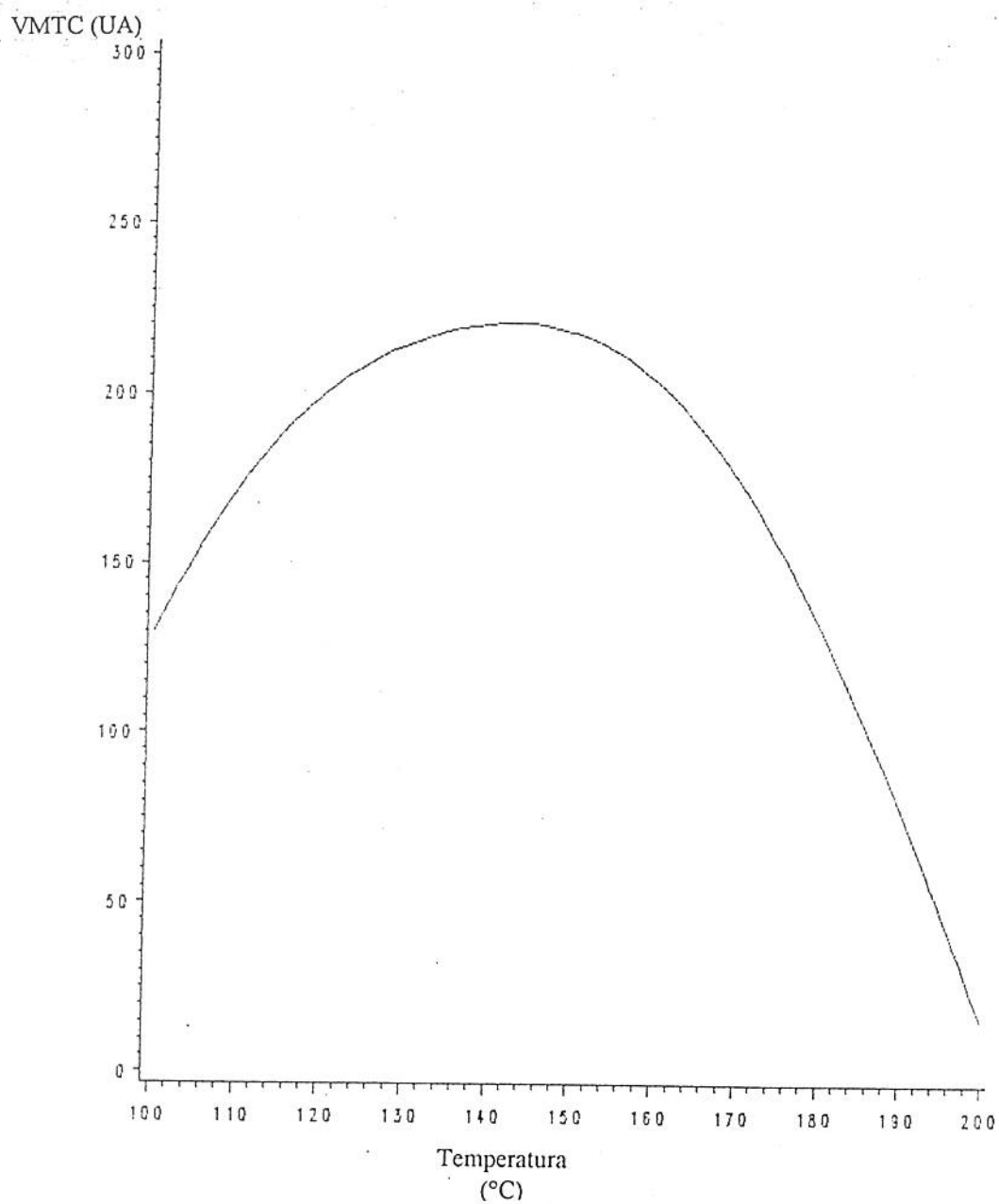


FIGURA 8. EFEITO DA TEMPERATURA DO PROCESSO NA VISCOSIDADE MÁXIMA À TEMPERATURA CONSTANTE (VMTC) DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.

#### 4.2.3.3.Viscosidade máxima no resfriamento (VMR)

Os valores da VMR, obtidos nas condições do processo, são encontrados na Tabela 16. Uma superfície quadrática completa foi ajustada às respostas obtidas para VMR em função das variáveis de extrusão. Foram considerados significativos os efeitos não superiores ao nível de 5%, sendo que os efeitos hierarquicamente inferiores a estes também fizeram parte do modelo proposto. A análise de variância (ANOVA) e a estimativa dos efeitos da regressão para VMR no novo modelo ajustado, podem ser observados na Tabela 17. O modelo é altamente significativo ( $p= 0,0001$ ) e explica 68% da variação das respostas da VMR ( $R^2= 0,6819$ ). Para predizer as respostas da VMR, em função das variáveis e do intervalo de variação analisados, foi montada a equação 5.

$$\text{VMR} = -1455,1062 + 26,5553T - 0,0954T^2 \quad (\text{equação 5})$$

Os resultados da Tabela 16 mostram que tanto as farinhas extrusadas quanto a farinha crua de feijão apresentaram valores da VMR bem superiores aos encontrados para VMTC (Tabela 14) e em alguns casos, as farinhas extrusadas apresentaram valores da VMR superiores até aos valores encontrados para VI (Tabela 12). Estes resultados indicam uma forte tendência destas farinhas extrusadas à retrogradação.

TABELA 16. VALORES DA VMR ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			VMR (U.A.)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	290
2	120	26	120	330
3	120	18	120	300
4	150	22	140	370
5	150	22	140	390
6	150	28	140	460
7	150	22	140	400
8	180	26	160	230
9	120	26	160	330
10	150	22	140	460
11	150	22	140	380
12	150	22	110	370
13	150	22	140	420
14	150	22	170	420
15	150	22	140	430
16	180	26	120	210
17	120	18	160	310
18	150	22	140	310
19	150	17	140	450
20	150	22	140	340
21	180	18	120	130
22	180	18	160	100
23	200	22	140	140
Farinha crua de feijão				340

X<sub>1</sub>= Temperatura de extrusão (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= Velocidade do parafuso (rpm)

(U.A.)= Unidades amilográficas

TABELA 17. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA VMR.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P > F
Modelo	2	167345,4908	83672,7454	21,44	0,0001
Resíduo	20	78037,1179	3901,8559		
Total	22	245382,6087			
$R^2$	0,6819				
C.V.	18,9787				
Média VMR	329,1304				

Efeitos	Estimativa dos efeitos	T	P >  T
Intercepto	-1455,1062	-3,66	0,0015
T	26,5553	4,98	0,0001
$T^2$	-0,0954	-5,41	0,00

Na Tabela 17 foi observado que as respostas da VMR encontradas sofreram a influência de um efeito linear da temperatura altamente significativo ( $p= 0,0001$ ) e de um efeito quadrático da temperatura, também significativo ( $p= 0,0001$ ). Nas condições empregadas no processo de extrusão, não foram encontradas evidências de efeitos significativos para o teor de umidade e para a velocidade do parafuso ao nível de 5% de probabilidade.

A Figura 9 mostra que a temperatura tem efeito marcante nos valores da VMR. O efeito da temperatura do processo é semelhante aos observados anteriormente para VI e VMTC, ou seja, a VMR aumentou com o aumento da temperatura até próximo de  $140^{\circ}\text{C}$ , sendo que após esta temperatura as respostas tendem a diminuir. Os resultados obtidos para VMR mostraram que temperaturas de extrusão superiores a  $140^{\circ}\text{C}$ , ocorreu menor interação entre os grânulos de amido. Estes resultados estão condizentes com os observados para a VI e a VMTC, onde o aumento da temperatura provocou maior desintegração dos grânulos resultando no enfraquecimento da rede formada pela interação entre os grânulos inchados.



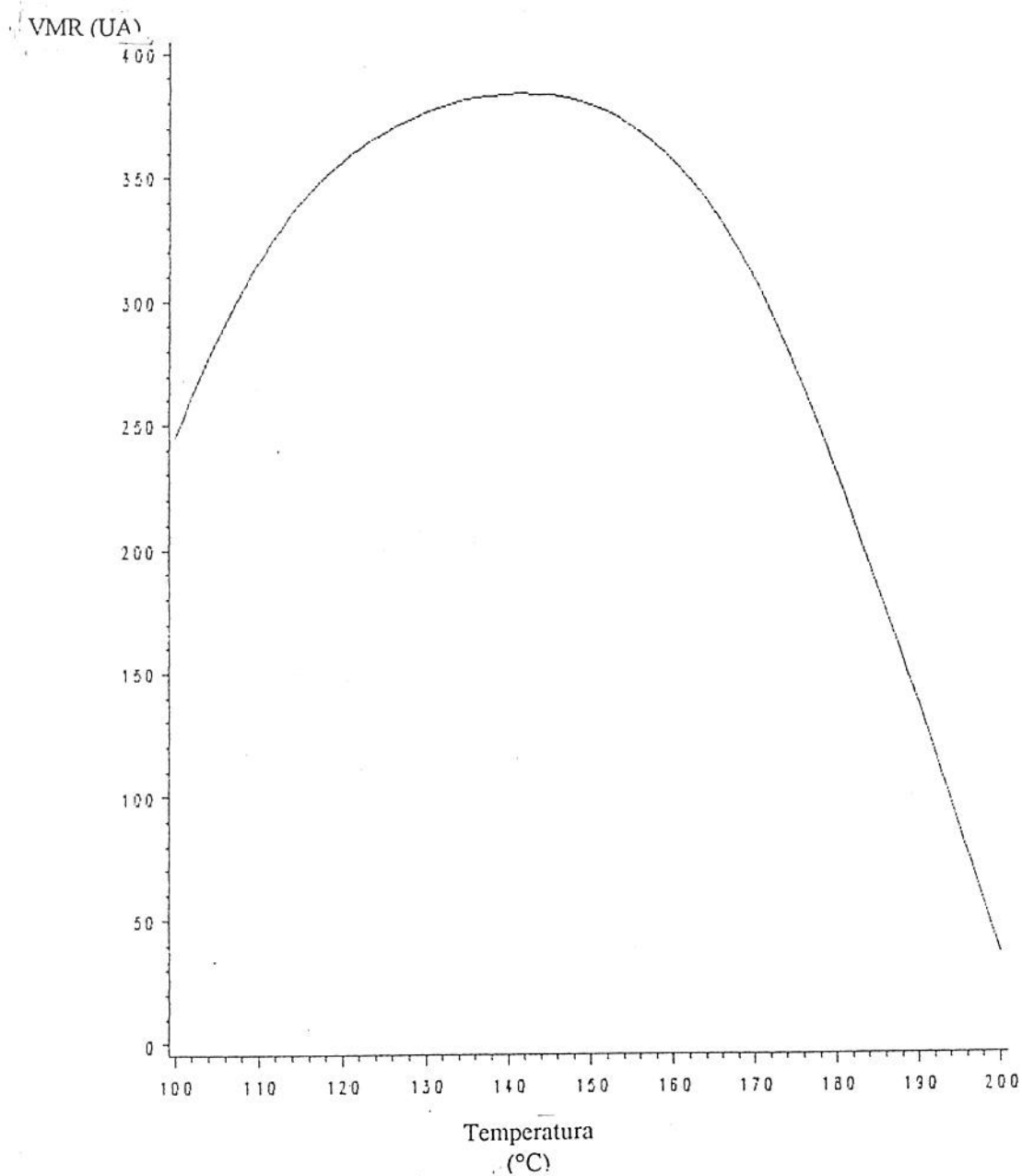


FIGURA 9. EFEITO DA TEMPERATURA DO PROCESSO NA VISCOSIDADE MÁXIMA NO RESFRIAMENTO (VMR) DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.

#### 4.2.4. Índice de expansão dos produtos extrusados (IE)

O fenômeno de expansão que ocorre nos produtos extrusados é causado pela evaporação da água super aquecida e pela descompressão que o produto sofre ao sair da matriz.

Segundo GUJSKA & KHAN (1991a) o grau de expansão afeta a densidade, fragilidade e maciez dos produtos extrusados. Este é um fator importante principalmente se o produto extrusado for utilizado como "snacks". O maior ou menor grau de expansão dos produtos extrusados vai depender das condições empregadas no processo, grau de gelatinização, constituintes da matéria prima e substâncias adicionadas a matéria prima antes do processo, como por exemplo, cloreto de sódio (BHATTACHARYA & HANNA, 1987a; CHINNASWAMY & HANNA, 1988a, 1988b e 1990).

A Tabela 18 mostra as respostas obtidas para o índice de expansão nos limites operacionais estudados. As respostas encontradas para o índice de expansão em função das variáveis foram ajustadas a uma superfície quadrática completa e os efeitos significativos considerados, não ultrapassaram o nível de 5%. Na construção do modelo foram considerados também os efeitos hierarquicamente inferiores aos efeitos significativos. Podem ser observadas na Tabela 19 a análise de variância (ANOVA) e a estimativa dos efeitos da regressão para o modelo ajustado. Este modelo é altamente significativo ( $p = 0,0001$ ) e explica 88% da variação das respostas ( $R^2 = 0,8808$ ). A equação 6 serve para prever os valores do índice de expansão dentro dos limites operacionais estudados.

$$IE = 0,5591 - 0,1156U + 0,0368T - 0,0002T^2 + 0,0008U*T$$

(equação 6)

TABELA 18. VALORES DO ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO

Tratamentos	Variáveis de extrusão			IE*
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	1,34
2	120	26	120	1,52
3	120	18	120	1,76
4	150	22	140	1,68
5	150	22	140	1,64
6	150	28	140	1,56
7	150	22	140	1,57
8	180	26	160	1,17
9	120	26	160	1,54
10	150	22	140	1,60
11	150	22	140	1,68
12	150	22	110	1,54
13	150	22	140	1,64
14	150	22	170	1,58
15	150	22	140	1,45
16	180	26	120	1,17
17	120	18	160	1,60
18	150	22	140	1,45
19	150	17	140	1,47
20	150	22	140	1,43
21	180	18	120	1,02
22	180	18	160	0,84
23	200	22	140	0,81

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= Velocidade do parafuso (rpm)

\* = média de 5 determinações

TABELA 19. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA IE.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P > F
Modelo	4	1,3356	0,3339	32,28	0,0001
Resíduo	18	0,1805	0,0100		
Total	22	1,5169			
R <sup>2</sup>	0,8808				
C.V.	6,9684				
Média expansão	1,4373				

Efeitos	Estimativa dos efeitos	T	P >  T
Intercepto	0,5591	0,48	0,6396
U	-0,1156	-2,58	0,0190
T	0,0368	3,43	0,0030
T <sup>2</sup>	-0,0002	-7,34	0,0001
U*T	0,0008	2,75	0,0131

Pode-se notar pela Tabela 18 que houve um certo grau de expansão na grande maioria dos extrusados de feijão, com exceção dos dois últimos tratamentos, onde as variáveis afetaram negativamente a expansão dos extrusados. Vale a pena ressaltar que as medidas dos diâmetros das amostras foram efetuadas nas superfícies mais uniformes possíveis, visto que os extrusados de feijão não apresentaram uniformidade em sua estrutura. Logo após a saída do material extrusado pela matriz, formas esféricas semelhantes a bolhas iam se formando por toda a superfície do extrusado, de uma maneira bastante irregular. Tal efeito também foi observado por GUJSKA & KHAN (1990), quando estes autores trabalharam com farinhas com alto teor de amido de feijão tratadas pelo processo de extrusão.

Analizando-se a Tabela 19, pode-se observar que não foram encontrados efeitos significativos da velocidade do parafuso nas respostas do IE, levando-se em conta as variáveis e o intervalo estudados. As respostas do IE foram influenciadas significativamente pelos efeitos lineares da umidade ( $p= 0,0190$ ) e da temperatura ( $p= 0,0030$ ), efeito quadrático da temperatura ( $p= 0,0001$ ) e efeito da interação entre a umidade e a temperatura ( $p= 0,0131$ ). Na Figura 10 são apresentados os efeitos da umidade e da temperatura do processo no IE das amostras extrusadas.

Na Figura 10 observa-se que em todas as temperaturas estudadas, o aumento do teor de umidade da matéria prima provocou uma tendência de queda do IE com posterior tendência de elevação para estes índices. Por outro lado, em todos os teores de umidade apresentados, o aumento da temperatura provocou elevação no IE até um máximo em torno de  $150^{\circ}\text{C}$ , sendo que em temperaturas maiores o IE mostrou uma tendência de queda acentuada. Os valores máximos para o IE foram observados em teor de umidade de 28% e temperatura intermediária de aproximadamente  $150^{\circ}\text{C}$ . Os valores mínimos para o IE foram encontrados para temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$  e teor de umidade intermediário ao redor de 22%. Os valores observados para o IE estão de acordo com os resultados obtidos para ISA e para os valores de viscosidade, pois o aumento da extensão da gelatinização com

a temperatura até determinado valor, provoca elevação do IE. Com a desintegração granular a partir de determinada temperatura o IE tende a decrescer (LINKO *et alii*, 1981), visto que a partir deste ponto pode ocorrer um aumento da solubilização e diminuição do poder de entumescimento dos grânulos. Por outro lado se o aumento da temperatura pode aumentar a gelatinização do amido e a desnaturação das proteínas, os resultados do IE também estão concordantes com os resultados do IAA, pois a insolubilização das proteínas em função do aumento da temperatura, prejudica o IE, ao mesmo tempo que equilibra o efeito da solubilização do amido fazendo com que o efeito da temperatura do processo não seja significativo para o IAA.

Pode-se concluir que a temperatura é o efeito mais significativo para o IE, pois conforme verificado na Figura 10, o aumento da temperatura aumentou o IE independentemente do teor de umidade. Efeitos semelhantes foram observados por outros autores: MERCIER & FEILLET (1975); GOMEZ & AGUILERA(1984); CHAUHAN & BAINS (1988); CHINNASWAMY & HANNA (1988a, 1988b e 1990); GUJSKA & KHAN (1990); AVIN *et alii* (1992) e MARQUES (1992). Dentre os trabalhos citados, apenas GUJSKA & KHAN (1990) e AVIN *et alii* (1992) trabalharam com farinha de feijão e observaram que o IE mais alto foi obtido a 132<sup>o</sup>C e 134<sup>o</sup>C, respectivamente.

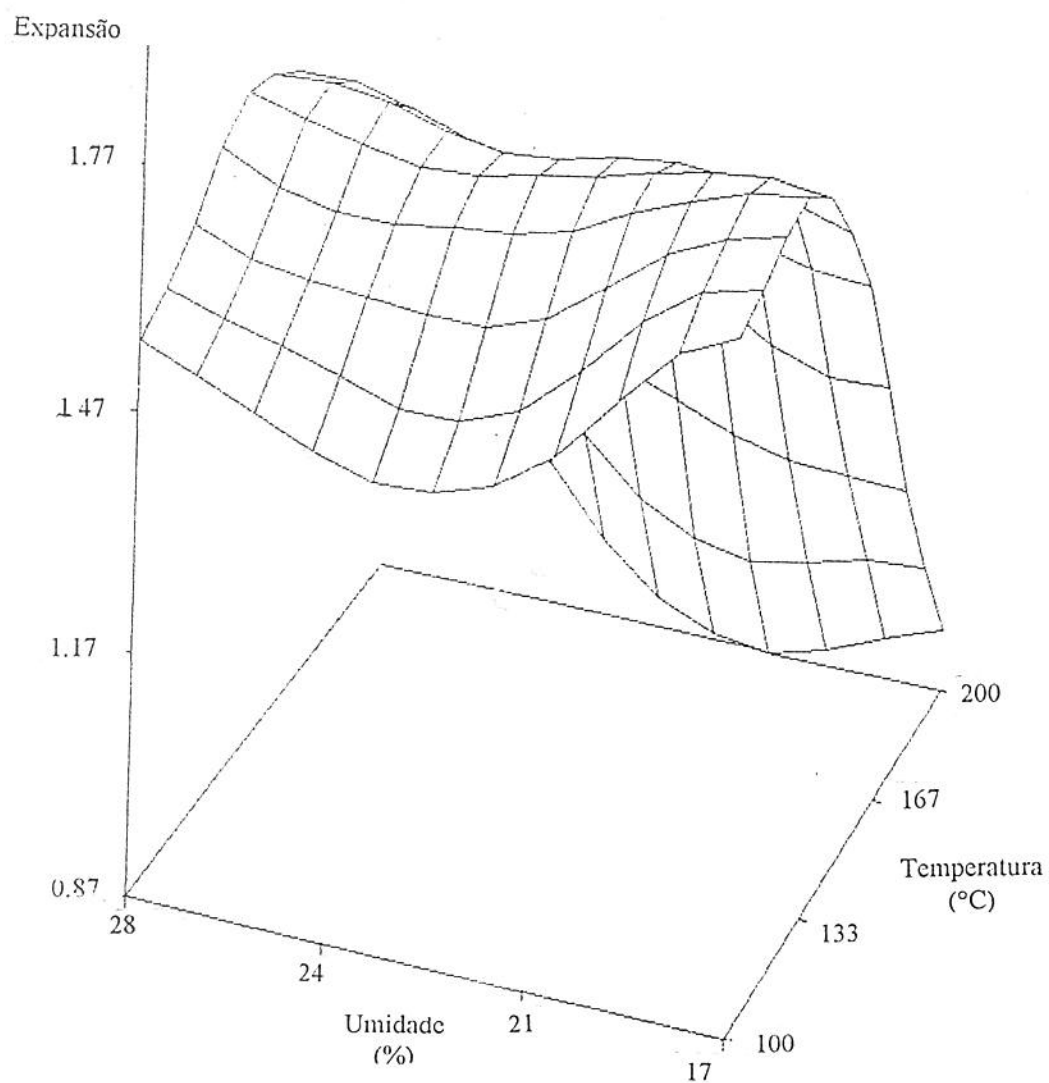


FIGURA 10. EFEITO DA UMIDADE DA MATÉRIA PRIMA E DA TEMPERATURA DO PROCESSO NO ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE) DOS EXTRUSADOS DE FEIJÃO.

#### 4.2.5. Torque

O torque está relacionado com o atrito mecânico que ocorre no interior do extrusor e depende, assim, das variáveis do processo, que por sua vez definem um maior ou menor grau de cisalhamento das amostras. Pelos valores do torque é possível estimar a eficiência do processo em termos de consumo de energia.

A Tabela 20 mostra os valores do torque em função das condições do experimento. Estes valores foram submetidos a uma superfície quadrática completa e o modelo proposto para prever as respostas observadas foi construído com efeitos significativos até um nível de 5% e com os efeitos hierarquicamente inferiores a estes. Podem ser observadas na Tabela 21 a análise de variância e a estimativa dos efeitos da regressão para os valores de torque no modelo ajustado. O modelo proposto para explicar os valores de torque foi altamente significativo ( $p = 0,0001$ ) e conseguiu explicar 71% da variação das medidas do torque ( $R^2 = 0,7139$ ). A equação 7 pode ser usada para prever os valores de torque nas condições operacionais que foram estudadas.

$$\text{Torque} = 331,6823 - 784,4391U + 182,6495T - 0,9680T^2 + 4,3750U \cdot T$$

(equação 7)

Conforme observado na Tabela 20, ocorreu uma grande variação nas medidas do torque. Os tratamentos nos quais o atrito mecânico era maior e portanto exigiam mais força do motor para impulsionar a amostra em direção à matriz, foram aqueles que apresentaram baixos teores de umidade (17-18%) em temperaturas intermediárias (120-150°C), resultando assim em valores de torque mais elevados. Os valores de torque mais baixos, tratamentos que exigiam menor força do motor, foram observados nas temperaturas mais elevadas (180-200°C) e para baixos teores de umidade.



TABELA 20. VALORES DE TORQUE OBSERVADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO

Tratamentos	Variáveis de extrusão			Torque (gm)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	1450
2	120	26	120	1250
3	120	18	120	2250
4	150	22	140	3100
5	150	22	140	3350
6	150	28	140	1700
7	150	22	140	3250
8	180	26	160	1750
9	120	26	160	1900
10	150	22	140	3350
11	150	22	140	3600
12	150	22	110	3550
13	150	22	140	3300
14	150	22	170	3550
15	150	22	140	3550
16	180	26	120	1450
17	120	18	160	4100
18	150	22	140	2350
19	150	17	140	4500
20	150	22	140	3400
21	180	18	120	1200
22	180	18	160	1000
23	200	22	140	1100

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= Velocidade do parafuso (rpm)

(gm)= grama.metro

TABELA 21. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) E ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA REGRESSÃO PARA OS VALORES DE TORQUE.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P > F
Modelo	4	18518664,80	4629666,20	11,23	0,0001
Resíduo	18	7419596,07	412199,78		
Total	22	25938260,87			
$R^2$	0,7139				
C.V.	24,6110				
Média torque	2608,6956				

Efeitos	Estimativas dos efeitos	T	P >  T
Intercepto	331,6823	0,04	0,9653
U	-784,4391	-2,73	0,0138
T	182,6495	2,66	0,0161
$T^2$	-0,9680	-5,33	0,0001
U*T	4,3750	2,31	0,0328

De acordo com a Tabela 21, não foram observadas evidências de efeito da velocidade do parafuso nas medidas do torque das amostras analisadas. Foi observado que os valores de torque sofreram a influência dos efeitos significativos lineares da umidade ( $p= 0,0138$ ) e da temperatura ( $p= 0,0161$ ), efeito quadrático da temperatura ( $p= 0,0001$ ) e efeito da interação entre umidade e temperatura ( $p= 0,0328$ ). Na Figura 11 são mostrados os efeitos da umidade e da temperatura nos valores de torque das farinhas de feijão extrusadas.

A Figura 11 mostra que de uma maneira geral em qualquer um dos teores de umidade estudados, o aumento da temperatura do processo aumentou os valores do torque até uma temperatura aproximada de  $150^{\circ}\text{C}$ , sendo que a partir desta temperatura os valores do torque apresentaram uma queda acentuada. Nas diversas temperaturas empregadas no processo de extrusão, o aumento do teor de umidade provocou uma tendência de queda nos valores do torque. Os valores máximos do torque, observados a 17% de umidade e aproximadamente  $150^{\circ}\text{C}$ , e os valores mínimos encontrados a  $200^{\circ}\text{C}$  e umidade em torno de 22%, foram condizentes com os resultados obtidos para o ISA e valores de viscosidade. O aumento da temperatura até  $150^{\circ}\text{C}$  e conseqüente elevação na extensão da gelatinização dos grânulos, pode aumentar a viscosidade no interior do extrusor resultando em conseqüente aumento nos valores do torque. Acima desta temperatura é possível que tenha ocorrido uma preponderância na desintegração dos grânulos, com diminuição da viscosidade no interior do extrusor e conseqüente diminuição nos valores do torque. O efeito da temperatura e da umidade nos valores do torque estão de acordo com os resultados apresentados por AVIN *et alii* (1992).

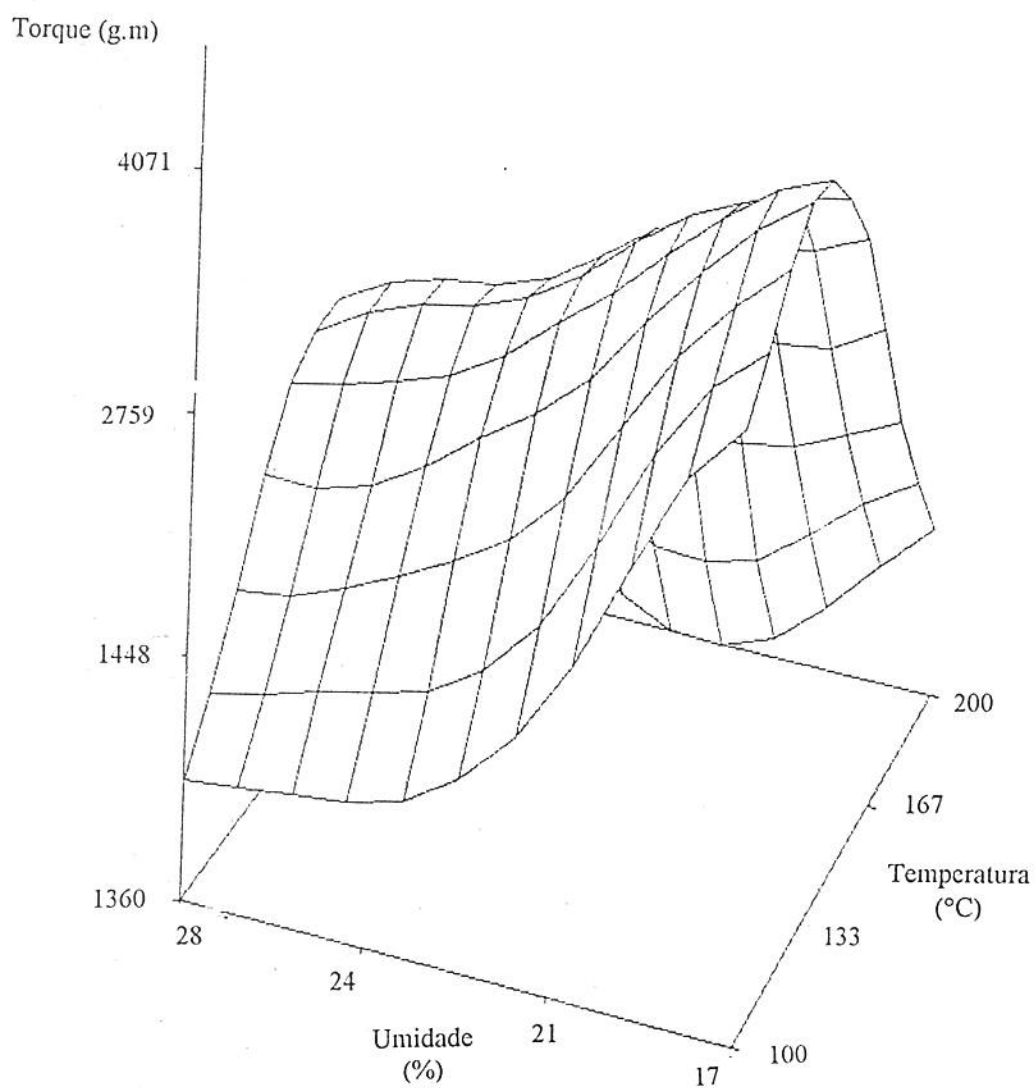


FIGURA 11. EFEITO DO TEOR DE UMIDADE E DA TEMPERATURA DO PROCESSO NOS VALORES DE TORQUE DAS FARINHAS DE FEIJÃO EXTRUSADAS.

#### 4.2.6. Propriedades Emulsificantes

As propriedades emulsificantes são avaliadas quanto à capacidade da proteína em formar uma emulsão (atividade emulsificante-AE), e à capacidade da proteína em formar a emulsão e esta permanecer inalterada por um período de tempo sob condições específicas (estabilidade da emulsão-EE).

É muito difícil estabelecer correlação entre os resultados apresentados por diversos autores para diferentes estudos de proteínas com relação às propriedades emulsificantes, principalmente porque são vários os fatores que influenciam estes resultados, como por exemplo: tipo e forma do equipamento, velocidade de adição do óleo, volume da fase lipídica, temperatura, pH, força iônica, presença de açúcares e sais, presença de surfactantes de baixo peso molecular, exposição ao oxigênio, características do óleo, concentração de proteínas solúveis (KINSELLA, 1976; CHEFTEL *et alii*, 1989).

Geralmente existe uma relação positiva entre solubilidade da proteína e AE e EE, pois proteínas insolúveis contribuem pouco para a formação da emulsão. Provavelmente a causa disto é que as propriedades emulsificantes estão relacionadas com a solubilidade da proteína em água e se as mesmas estão insolúveis vão interferir menos na diminuição da tensão interfacial entre os componentes hidrofóbicos e hidrofílicos (VOUTSINAS *et alii*, 1983 e CHEFTEL *et alii*, 1989).

Os resultados obtidos de AE e EE em função dos tratamentos efetuados podem ser observados nas Tabelas 22 e 23, respectivamente. Todos os resultados foram avaliados por análise de superfície quadrática completa e não foram observadas evidências de efeito significativo das variáveis ao nível de 5% de probabilidade, ou seja, não houve diferença significativa entre os tratamentos empregados ao nível de 5%.

TABELA 22. VALORES DE ATIVIDADE EMULSIFICANTE (AE) ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			AE* (%)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	46,66
2	120	26	120	46,98
3	120	18	120	50,45
4	150	22	140	48,89
5	150	22	140	50,76
6	150	28	140	50,45
7	150	22	140	48,15
8	180	26	160	44,66
9	120	26	160	46,13
10	150	22	140	47,11
11	150	22	140	45,19
12	150	22	110	48,56
13	150	22	140	46,96
14	150	22	170	48,58
15	150	22	140	48,15
16	180	26	120	45,75
17	120	18	160	44,53
18	150	22	140	43,92
19	150	17	140	44,13
20	150	22	140	43,85
21	180	18	120	44,06
22	180	18	160	44,03
23	200	22	140	46,43
Farinha crua de feijão				56,18

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= Velocidade do parafuso (rpm)

\* = Média de 2 determinações

TABELA 23. VALORES DE ESTABILIDADE DA EMULSÃO (EE) ENCONTRADOS EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DA FARINHA DE FEIJÃO.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			EE* (%)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	100	22	140	43,63
2	120	26	120	41,85
3	120	18	120	40,38
4	150	22	140	44,23
5	150	22	140	41,70
6	150	28	140	40,84
7	150	22	140	41,23
8	180	26	160	45,56
9	120	26	160	44,71
10	150	22	140	43,11
11	150	22	140	44,34
12	150	22	110	42,33
13	150	22	140	48,72
14	150	22	170	47,32
15	150	22	140	46,86
16	180	26	120	47,27
17	120	18	160	44,06
18	150	22	140	44,15
19	150	17	140	41,82
20	150	22	140	42,85
21	180	18	120	42,83
22	180	18	160	43,24
23	200	22	140	44,71
Farinha crua de feijão				55,75

X<sub>1</sub>= Temperatura de extrusão (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

X<sub>3</sub>= Velocidade do parafuso (rpm)

\* = Média de 2 determinações

Observando as Tabelas 22 e 23 , nota-se que as farinhas de feijão extrusadas apresentaram resultados de AE e EE inferiores aos resultados apresentados para a farinha crua, demonstrando que os processamentos afetaram negativamente as propriedades emulsificantes das farinhas extrusadas. Nas amostras extrusadas e na amostra crua, a AE apresentou-se em grande parte ligeiramente superior a EE.

Pelos resultados observados nas propriedades emulsificantes das farinhas extrusadas de feijão pode-se supor que durante o tratamento térmico ocorreu desnaturação das proteínas, fazendo com que estas apresentassem uma diminuição na solubilidade. Este fenômeno está de acordo com os resultados observados para o ISA onde foi observado que na maioria dos tratamentos a solubilização do amido foi compensada pela desnaturação e conseqüente insolubilização das proteínas. Assim é possível, que mesmo nos tratamentos mais brandos, grande parte das proteínas tenham sido desnaturadas de modo que a variação dos tratamentos não apresentou significância quanto às propriedades emulsificantes. Esta desnaturação das proteínas, mesmo nas condições de temperaturas mais brandas, oferece subsídios para a observação feita com relação a não significância do efeito da temperatura no IAA. É possível, portanto, que o efeito positivo da temperatura na gelatinização do amido, que afetaria o IAA, tenha sido compensado pela insolubilização das proteínas. Resultados semelhantes a este em que o estado da proteína pareceu interferir nos dados de AE e EE, são apresentados nos trabalhos de VOUTSINAS *et alii* (1983), HÓRVATH *et alii* (1989), GUJSKA & KHAN (1990 e 1991a). Dos autores citados, GUJSKA & KHAN foram os únicos que trabalharam com proteínas de feijão. Estes autores verificaram que a AE das farinhas cruas foi maior do que a AE das farinhas extrusadas, indicando que o tratamento térmico afetou as propriedades emulsificantes das proteínas do feijão.



#### 4.3. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS

##### 4.3.1. Atividade hemaglutinante (AH) e atividade do inibidor de tripsina (AIT)

A Tabela 24 mostra os resultados das atividades hemaglutinante e do inibidor da tripsina encontrados para os tratamentos empregados no ensaio biológico (Tabela 3).

As condições operacionais do processo de extrusão diminuíram significativamente a AH e a AIT das farinhas de feijão extrusadas em comparação com a farinha crua. O processamento térmico causou uma diminuição de 97% na AH e um decréscimo de 90% na AIT. Os resultados encontrados são semelhantes aos resultados observados na literatura, que reportam a diminuição dos fatores antinutricionais do feijão e de outras leguminosas com o aumento da temperatura do processo: PAK *et alii* (1978), ANTUNES & SGARBIERI (1980), PAK & ARAYA (1981), TSUKAMOTO *et alii* (1983), YADAV & LIENER (1983), HÓRVATH *et alii* (1989) e DHURANDHAR & CHANG (1990).

É importante ressaltar que neste trabalho não foi verificada uma inativação completa dos fatores antinutricionais como geralmente é observada na maioria dos trabalhos citados da literatura. No entanto, tem que ser lembrado que na maioria dos trabalhos em que ocorreu inativação total da AH e da AIT, o tempo empregado no tratamento térmico é bem maior do que o tempo do processo de extrusão (aproximadamente 30 seg). É possível que a quantidade limitada de água do processo de extrusão tenha efeito na não inativação total destes fatores.

TABELA 24. ATIVIDADE HEMAGLUTINANTE (AH) E ATIVIDADE DO INIBIDOR DE TRIPSINA (AIT) DAS FARINHAS DE FEIJÃO.

Tratamentos	Variáveis de extrusão		AH Título *	AIT (UTI/mg prot.) **
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>		
1	120	22	4	14,43
2	120	26	4	14,39
3	150	22	2	14,32
4	150	26	2	14,37
5	180	22	2	14,43
6	180	26	2	14,23
Farinha crua de feijão			128	117,35

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

\* = Título hemaglutinante a partir de solução com 1mg prot./ml

\*\* = UTI - unidades de tripsina inibidas

#### 4.3.2. Solubilidade das farinhas em diferentes solventes

A Tabela 25 mostra os valores da solubilidade das farinhas extrusadas e da farinha crua de feijão em função de diferentes sistemas de solventes. A Tabela 26 mostra a análise de variância aplicada aos valores de solubilidade das farinhas extrusadas.

Os dados da Tabela 25 mostram que, independente das condições do tratamento térmico, a solubilidade das proteínas de feijão diminuiu drasticamente. Parece que ocorreu um certo desequilíbrio entre as interações, talvez com diminuição das ligações polares e aumento das apolares, o que de certo modo é esperado devido a desnaturação. Em relação à farinha crua a solubilidade em água e em solução salina 0,25N das proteínas diminuiu nas farinhas extrusadas de 43% e 75% para 8-11% e 4-6%, respectivamente. A diminuição da solubilidade das proteínas em presença de solução salina foi devido à ação do cloreto de sódio, que reforça as interações hidrofóbicas impedindo a dissociação das moléculas protéicas. Estes dados mostram que o processo de extrusão provocou insolubilização em torno de 87% das albuminas e em cerca de 96% das globulinas. A solubilidade das proteínas nestes 2 solventes aumentou com a elevação da temperatura do processo.

A solubilidade das farinhas extrusadas nos solventes uréia, 2-mercaptoetanol e SDS (dodecil sulfato de sódio) também diminuiu em relação à farinha crua de feijão. No entanto a uréia, responsável pela quebra de pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas e o SDS, que rompe as interações hidrofóbicas e eletrostáticas, foram os solventes que conseguiram solubilizar uma quantidade maior de proteínas desnaturadas. Em relação ao SDS e a uréia, o 2-mercaptoetanol, agente redutor de pontes dissulfeto, solubilizou uma quantidade muito menor de proteínas, indicando a existência de pequeno número de pontes dissulfeto nas proteínas desnaturadas.

TABELA 25. VALORES DE SOLUBILIDADE DAS FARINHAS DE FEIJÃO EM DIFERENTES SOLVENTES.

Solv. <sup>1</sup>	Solubilidade (%) <sup>*</sup>						
	Farinha crua	1	2	3	4	5	6
1	42,78a	8,70e	8,60e	9,70d	9,50d	11,80b	10,76c
2	74,82a	4,10f	3,40g	5,50d	4,50e	6,70b	6,10c
3	99,97a	80,11b	79,00c	48,50d	44,50e	21,72f	21,76f
4	48,66a	9,54f	9,90e	11,91b	11,25c	11,05d	11,88b
5	99,90a	84,83b	86,30c	73,48d	69,16e	27,75f	22,90g
6	99,64a	68,45b	67,50c	35,66d	33,52e	26,90f	24,37g
7	98,43a	29,14b	28,57c	29,14b	27,64d	11,86f	12,50e
8	98,40a	35,43d	34,25e	41,93b	40,60c	19,52f	18,81g
9	99,97a	48,48c	46,14d	48,81b	48,55c	35,22e	35,08e
10	99,99a	53,26c	51,98d	54,67b	52,92c	35,97e	35,45e

\* médias na mesma linha seguidas da mesma letra não se diferem ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* análises feitas em triplicata

Solventes<sup>1</sup>:

1. Água
2. NaCl 0,25N
3. Uréia 8M
4. 2-Mercaptoetanol 0,1M
5. SDS 1,5%
6. Uréia + NaCl
7. Uréia + 2-Mercaptoetanol
8. Uréia + 2-Mercaptoetanol + NaCl
9. Uréia + 2-Mercaptoetanol + SDS
10. Uréia + 2-Mercaptoetanol + SDS + NaCl

Tratamentos<sup>2</sup>:

1. 120<sup>0</sup>C - 22%
2. 120<sup>0</sup>C - 26%
3. 150<sup>0</sup>C - 22%
4. 150<sup>0</sup>C - 26%
5. 180<sup>0</sup>C - 22%
6. 180<sup>0</sup>C - 26%

TABELA 26. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DE SOLUBILIDADE DAS FARINHAS EXTRUSADAS.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Modelo	3	29062,7281	9687,5760	26,71**
Tratamentos	1	13215,8065	13215,8065	36,44**
Solventes	1	15739,7972	15739,7972	43,39**
Interação	1	107,1243	107,1243	0,30
Resíduo	176	63838,9761	362,7216	
Total	179	92901,7042		

\*\* valores de F significativos ao nível de 5% de probabilidade.

Na solubilidade das proteínas em uréia, foi observado que nas farinhas tratadas a 120°C a interação entre as proteínas foi maior, porque estes tratamentos apresentaram maior quantidade de proteínas solúveis em relação aos demais tratamentos. O aumento do teor de umidade parece interferir na solubilidade como pode ser observado nos tratamentos de 1 a 4, pois aumentando-se o teor de umidade, a solubilidade diminuiu. No tratamento a 180°C nenhuma tendência foi observada.

No teste de solubilidade das proteínas em 2-mercaptoetanol foram observadas diferenças entre as amostras, mas estas diferenças não foram influenciadas pela temperatura e nem pelo teor de umidade das farinhas, visto que amostras tratadas com temperaturas e umidades diferentes, não apresentaram diferenças significativas. Este resultado pode ser devido ao limitado teor de pontes dissulfeto que o feijão apresenta. Como pode ser observado na Tabela 25 o 2-mercaptoetanol não influenciou na solubilização das proteínas, visto que seus resultados são semelhantes aos observado para o solvente 1 (água).

O SDS foi o solvente que obteve maiores índices de solubilidade entre as farinhas extrusadas, quando usado isoladamente. Ficou evidente que os aumentos da temperatura do processo e da umidade minimizaram o aparecimento de interações hidrofóbicas entre as proteínas desnaturadas, porque o aumento destas variáveis aumentou a insolubilidade em SDS. A relativa solubilidade em uréia e SDS das proteínas extrusadas a baixas temperaturas indicaram a existência de um número relativo de pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas presentes nas proteínas desnaturadas. O decréscimo da solubilidade nestes dois solventes com o aumento da temperatura indicou que o processo de extrusão minimizou a interação através de pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas.

Quando foram efetuados testes de solubilidade com a combinação dos solventes, observou-se a mesma tendência de queda da solubilidade das farinhas extrusadas em relação à farinha crua. Com algumas exceções,

foi possível solubilizar a farinha crua na maioria dos solventes empregados, mas a mesma observação não pode ser feita para as farinhas extrusadas. As interações que ocorreram com a farinha de feijão crua pareciam estar muito mais balanceadas, porque todos os agentes solubilizantes produziram alta solubilidade nesta farinha. Outro fato que ocorreu foi que na combinação dos solventes, geralmente a solubilidade diminuiu em relação à solubilidade das farinhas extrusadas nos solventes usados isoladamente. Este fato pareceu demonstrar que ocorreu certo antagonismo quando os solventes foram usados em conjunto. Isto pode ser observado analisando-se os resultados dos solventes 5 e 9, onde a uréia pareceu reprimir a solubilidade. No caso da uréia que rompe ligações de natureza mista, apolares e polares, resulta um grau de solubilidade próximo ao apresentado pelo SDS, onde somente as interações hidrofóbicas são rompidas. No entanto, com o aumento da complexidade do solvente, a solubilidade das farinhas aumentou até o ponto máximo quando foi usada a combinação dos quatro solventes. A exceção apresentada foi a combinação da uréia com o cloreto de sódio (solvente 6). que apresentou os melhores resultados para os tratamentos 1 e 2 tratados a 120°C.

Estes resultados sobre a solubilidade das proteínas é compatível com os dados encontrados para o ISA, pois a diminuição deste parâmetro em decorrência do processo de extrusão foi devido principalmente à insolubilização das proteínas, que anulou o efeito causado pela solubilização do amido. Como o SDS e a uréia foram os solventes que solubilizaram maior quantidade de proteínas desnaturadas, supõe-se que durante o processo de extrusão as ligações hidrofóbicas e eletrostáticas e as pontes de hidrogênio são as interações que mais ocorreram, sendo assim as responsáveis pelo aumento da insolubilidade observado nas amostras desnaturadas pelo processo de extrusão. Resultados semelhantes aos apresentados podem ser vistos nos trabalhos de: JEUNINK & CHEFTEL (1979), PILOSOF *et alii* (1981 e 1982) e GUJSKA & KHAN (1991 a, b). Diversos autores reportaram resultados semelhantes em estudos com proteína de soja: HAGER (1984), PHAM & DEL ROSARIO (1984a), CHAUHAN & BAINS (1988) e HÓRVATH *et alii* (1989).



#### 4.3.3. Quociente de eficiência protéica (PER)

Conforme citado na literatura, o calor é empregado para o tratamento de leguminosas com a finalidade de melhorar suas características nutricionais. Neste trabalho não são apresentados resultados de PER para uma farinha crua (sem tratamento), pois diversos autores já relataram que uma dieta com farinha crua de feijão leva os animais à morte em um tempo máximo de 2 semanas (EL NAHRY *et alii*, 1977; KHAN & GHAFOR, 1978; YADAV & LIENER, 1978).

A Tabela 27 mostra os resultados dos valores de PER encontrados para as dietas das farinhas de feijão extrusadas e na Tabela 28 consta a análise de variância (ANOVA) para os valores de PER. Na Figura 12 são mostradas as curvas de crescimento dos animais durante os 28 dias do ensaio biológico.

Os valores da Tabela 27 mostram que o PER da caseína foi duas vezes maior que os das demais dietas. Os valores obtidos das dietas 4, 3 e 1 não foram diferentes entre si, sendo estes significativamente superiores aos da dieta 2 e das dietas 5 e 6 que apresentaram os valores mais baixos de PER. Como as dietas 4, 3 e 1 não são diferentes significativamente pode-se supor que a temperatura não influenciou negativamente no valor de PER, visto que as dietas 3 e 4 foram tratadas a 150 e a dieta 1 a 120°C. No entanto a dieta 2 que também foi tratada a 120°C, umidade de 26%, foi significativamente diferente das demais, sugerindo que de alguma maneira o teor de umidade influenciou o valor de PER quando a dieta foi tratada a 120°C. Para temperaturas de 180°C a umidade não afetou o PER, pois as dietas 5 e 6 não foram estatisticamente diferentes.



TABELA 27. VALORES DE QUOCIENTE DE EFICIÊNCIA PROTÉICA (PER) PARA AS FARINHAS DE FEIJÃO CARIOCA 80 SH EXTRUSADAS

Dietas	Variáveis de extrusão		PER <sup>*</sup>
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	
1	120	22	1,66 $\pm$ 0,12 b <sup>**</sup>
2	120	26	1,55 $\pm$ 0,16 c
3	150	22	1,67 $\pm$ 0,23 b
4	150	26	1,69 $\pm$ 0,18 b
5	180	22	1,44 $\pm$ 0,15 d
6	180	26	1,39 $\pm$ 0,12 d
7 Dieta padrão de caseína			3,44 $\pm$ 0,14 a

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

\* = Valores médios e desvio padrão para grupo de 6 animais

\*\* = Valores com a mesma letra na coluna não diferem significativamente a nível de 5%

TABELA 28. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DE PER

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	6	18,5230	3,0871	1102,5357*
Resíduo	35	0,9769	0,0028	
Total	41	19,4999		

\*= valor de F significativo ao nível de 5%

Apenas para comparação, corrigindo-se o PER obtido para a farinha de feijão extrusada (aproximadamente 1,56) para 1,14 em relação ao PER da caseína de 2,5 observou-se que estes resultados apresentaram-se inferiores aos relatados na literatura para outros tratamentos térmicos. EL NAHRY *et alii* (1977) relatou PER de 1,68 e 1,55 para feijões cozidos com maceração prévia e sem maceração, respectivamente, sendo o PER da caseína de 2,5. YADAV & LIENER (1978) apresentaram valores de PER de 1,69 para feijões autoclavados (121°C) e 1,92 para feijões torrados (aproximadamente 204°C) e os autores também consideraram o PER da caseína como 2,5. ASPIROZ *et alii* (1983) acrescentaram 0,3% de metionina às dietas de feijão cozido e observaram valores de PER entre 2,34 e 2,53. Os valores próximos ao valor de PER da caseína (2,5) comprova a eficácia do tratamento térmico sobre a proteína do feijão.

De acordo com a Figura 12 tem-se a confirmação de que a dieta com caseína foi a mais eficiente para o crescimento dos animais, conforme visto na Tabela 27. Seguindo-se então em ordem decrescente de eficiência as dietas 4, 3, 1, 2, 5 e 6. As dietas que continham farinha de feijão tratadas com a temperatura mais elevada foram as que influenciaram mais negativamente na curva do crescimento.

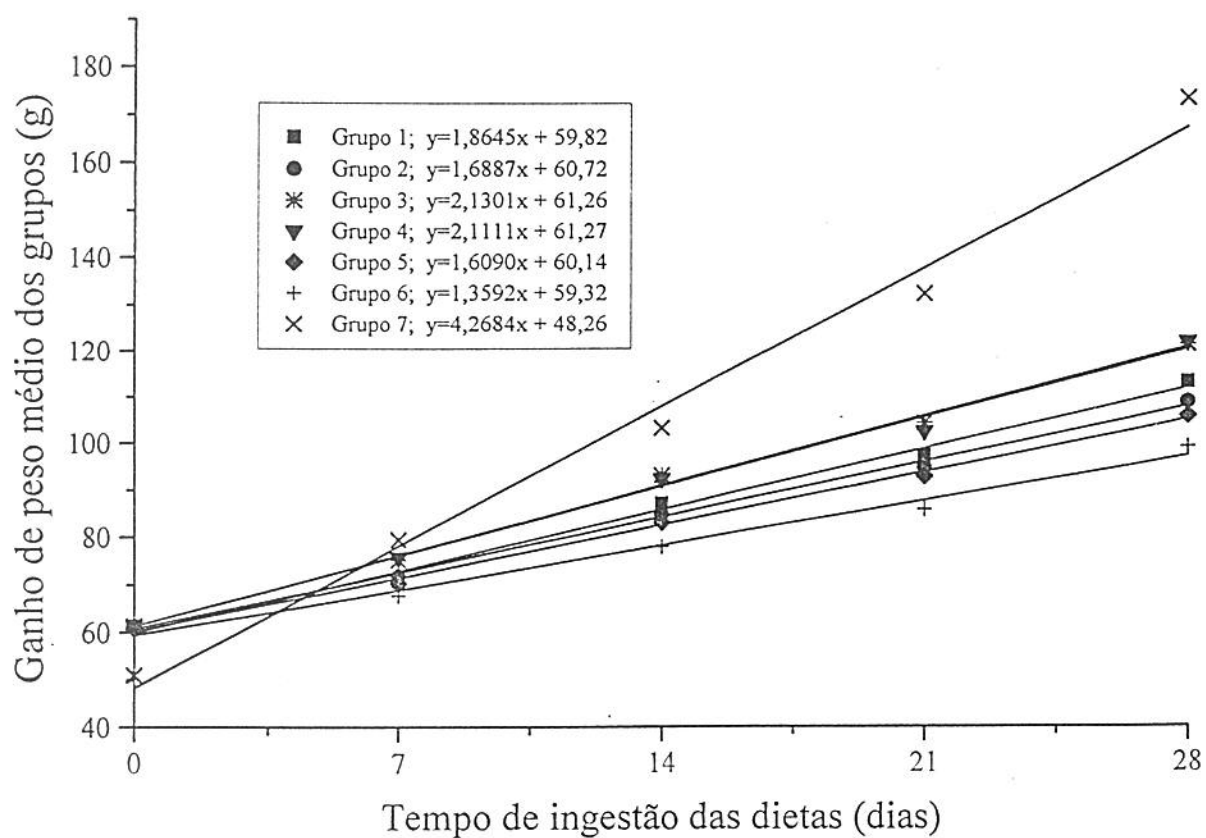


FIGURA 12. CURVAS DE CRESCIMENTO DOS ANIMAIS DURANTE O ENSAIO BIOLÓGICO COM DIETAS PREPARADAS COM FARINHAS DE FEIJÃO (CARIOCA 80 SH) EXTRUSADAS, COMPARADAS COM A DIETA PADRÃO DE CASEÍNA.

#### 4.3.4. Digestibilidade aparente da proteína (DA)

A Tabela 29 mostrou os resultados de DA para as dietas das farinhas de feijão extrusadas e na Tabela 30 pode ser observada a análise de variância para os valores de DA.

Analisando-se a Tabela 29, observa-se que os valores para DA são bastante distintos. A dieta padrão obteve o valor de digestibilidade mais elevado (91%) e a dieta 5 apresentou o valor mais baixo (66%). As dietas 1, 2, 3 e 4 não foram significativamente diferentes e as dietas 1, 4 e 6 formam ainda outro grupo que não se diferencia significativamente. Pode-se constatar assim que o aumento da temperatura influenciou muito pouco na DA das farinhas de feijão extrusadas, com exceção do tratamento mais drástico que apresentava a maior temperatura e a umidade mais baixa (dieta 5) e que apresentou o valor mais baixo para DA.

De uma maneira geral o valor de DA mostrou uma tendência de queda com o aumento da temperatura. Isto pode ser verificado nos valores das dietas 5 e 6 que formam um grupo significativamente diferente das demais, apesar da dieta 6 não ser significativamente diferente das dietas 1 (120°C) e 4 (150°C), talvez devido ao teor de umidade mais elevado (26%). No entanto, deve ser lembrado que o aumento da temperatura do processo aumentou a insolubilidade das proteínas, e este fato pode estar contribuindo para a diminuição dos valores da DA com o aumento da temperatura. Os valores de DA que foram encontrados, não diferem dos valores relatados pela literatura para outros tipos de tratamentos, como por exemplo, os valores de DA de 66,0% e 69,2% para feijões autoclavados e torrados, respectivamente. Estes resultados foram apresentados por YADAV & LIENER (1978). No entanto, resultados ligeiramente inferiores aos apresentados, são relatados por ANTUNES & SAGARBIERI (1980) e por SAGARBIERI *et alii* (1979). SAGARBIERI *et alii* encontraram valores de digestibilidade em torno de 63% e 64% para o feijão Rosinha cozido e para o feijão Carioca cozido, respectivamente, ressaltando que a digestibilidade pode variar com a variedade do feijão.

TABELA 29. VALORES DE DIGESTIBILIDADE APARENTE (D<sub>A</sub>) PARA AS FARINHAS DE FEIJÃO (CARIOCA 80 SH) EXTRUSADAS.

Dietas	Variáveis de extrusão		D <sub>A</sub> <sup>*</sup> (%)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	
1	120	22	72,45 ± 6,42 b,c
2	120	26	74,31 ± 3,92 b
3	150	22	75,62 ± 1,07 b
4	150	26	73,51 ± 1,78 b,c
5	180	22	66,41 ± 1,85 d
6	180	26	68,63 ± 1,05 c,d
7	Dieta padrão de caseína		91,00 ± 0,79 a

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

\* = Valores médios e desvio padrão para grupo de 6 animais

\*\* = Valores com a mesma letra na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 30. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DE DA

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	6	2271,9451	378,6575	40,08*
Resíduo	35	330,6426	9,4469	
Total	41	2602,5877		

\*= valor de F significativo ao nível de 5%

#### 4.3.5. Valor biológico aparente das proteínas (VBA)

A Tabela 31 mostra os resultados de VBA das farinhas de feijão extrusadas e na Tabela 32 pode-se observar a análise de variância para os valores de VBA. Pelos resultados mostrados na Tabela 31, as dietas contendo as amostras processadas termicamente são equivalentes à dieta utilizada como padrão. O resultado mais elevado para VBA (86,2%) foi obtido para a dieta 2 e o valor mais baixo (64,04%) foi obtido para a dieta 5. As dietas 1, 2, 3, 4 e 6 e a dieta da caseína (7) formam um grupo que não difere entre si significativamente, mas as dietas 3, 5 e 7 formam um outro grupo que também não apresentou diferença significativa.

Através dos resultados apresentados pode-se afirmar que a temperatura isoladamente não afetou significativamente o VBA da farinha de feijão extrusada. A mesma conclusão pode ser verdadeira quando se observa isoladamente o teor de umidade, porque teores de umidade diferentes em uma mesma temperatura não alteraram significativamente os resultados. No caso da dieta 5 que apresentou o resultado mais baixo, deve ser levado em conta a combinação das 2 variáveis, alta temperatura e baixo teor de umidade, que em conjunto tiveram um efeito negativo no VBA.

Resultados semelhantes a este apresentado pela dieta 5, foram reportados por EGGUM *et alii* (1986) para extrusados de farinha de arroz. Os autores usaram temperatura de 150°C e 15% de teor de umidade, e observaram com isto que houve uma queda acentuada nos valores de digestibilidade, valor biológico e utilização líquida da proteína. Os dados de VBA apresentados aqui são superiores aos resultados relatados por KHAN & GHAFOR (1978) e SGARBIERI *et alii* (1979) para feijões macerados e cozidos.



TABELA 31. VALOR BIOLÓGICO APARENTE (VBA) DA PROTEÍNA DAS FARINHAS DE FEIJÃO (CARIOCA 80 SH) EXTRUSADAS.

Dietas	Variáveis de extrusão		VBA*	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	(%)	
1	120	22	86,08 ± 6,21	a**
2	120	26	86,25 ± 13,15	a
3	150	22	79,04 ± 12,36	a,b
4	150	26	85,14 ± 9,07	a
5	180	22	64,04 ± 2,41	b
6	180	26	84,54 ± 10,99	a
7 Dieta padrão de caseína			72,97 ± 7.23	a,b

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

\* = Valores médios e desvio padrão para grupo de 6 animais

\*\* = Valores na coluna com a mesma letra não são diferentes significativamente ao nível de 5%

TABELA 32. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS DADOS DE VBA

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	6	2565,1168	427,5194	4,78*
Resíduo	35	3130,2444	89,4355	
Total	41	5695,3612		

\* Valor de F significativo ao nível de 5%

#### 4.3.6. Utilização líquida aparente da proteína (NPU<sub>A</sub>)

São apresentados na Tabela 33 os valores de NPU<sub>A</sub> encontrados para as dietas das farinhas de feijão extrusadas e na Tabela 34 pode-se observar a análise de variância para os valores de NPU<sub>A</sub>.

Quanto aos valores de NPU<sub>A</sub> vistos na Tabela 33, observa-se que a dieta 5 novamente apresentou o menor valor (42,5%) enquanto que a dieta padrão apresentou o maior valor (66,5%). As demais dietas não foram significativamente diferentes da dieta padrão, deduzindo-se que as combinações de temperatura e teor de umidade empregadas interferiram muito pouco nos valores de NPU<sub>A</sub>. Entretanto os valores apresentaram uma tendência de queda com a elevação da temperatura do processo, por outro lado, na temperatura de 180<sup>0</sup>C o aumento no teor de umidade provocou um aumento dos valores de NPU<sub>A</sub>. De uma maneira geral, os processamentos deixaram as proteínas do feijão com um potencial de utilização equivalente ao da caseína.

Os valores de NPU<sub>A</sub> encontrados (aproximadamente 60%) foram superiores aos relatados por PAK & ARAYA (1981) que também trabalharam com o processo de extrusão em farinha de feijão. Os autores encontraram valores de NPU de 43,2% para o feijão extrusado e o mesmo valor para os feijões cozidos. Resultados mais baixos de NPU foram encontrados por SGARBIERI *et alii* (1979) para diversos tipos de feijões macerados e cozidos (25-35%).

TABELA 33. VALORES DE UTILIZAÇÃO LÍQUIDA APARENTE DA PROTEÍNA (NPUA)  
DAS FARINHAS DE FEIJÃO (CARIOCA 80 SH) EXTRUSADAS.

Dietas	Variáveis de extrusão		NPUA*	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	(%)	
1	120	22	64,42 ±	4,67 a **
2	120	26	64,21 ±	11,20 a
3	150	22	59,70 ±	8,87 a
4	150	26	62,60 ±	6,91 a
5	180	22	42,51 ±	1,64 b
6	180	26	58,05 ±	7,76 a
7 Dieta padrão de caseína			66,55 ±	6,84 a

X<sub>1</sub>= Temperatura do processo (°C)

X<sub>2</sub>= Umidade da matéria-prima (%)

\* = Valores médios e desvio padrão para grupo de 6 animais

\*\* = Valores com a mesma letra na coluna não diferem  
significativamente ao nível de 5%

TABELA 34. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA OS VALORES DE NPUA

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	6	2375,7657	395,9609	7,22*
Resíduo	35	1918,3834	54,8109	
Total	41	4294,1491		

\* Valor de F significativo ao nível de 5%

Pode-se concluir então que o processo de extrusão pode ser utilizado como um tratamento térmico eficiente para o aproveitamento da proteína do feijão. Observou-se que os valores baixos de PER e DA podem ser devidos à deficiência de aminoácidos sulfurados no feijão, inibindo o crescimento dos animais e à presença de resíduos dos fatores antinutricionais na própria composição dos grãos que prejudicaram a digestibilidade da proteína, mesmo depois de desnaturada pelo calor. Outro fator que pode estar influenciando nestes resultados é o aumento da insolubilidade das proteínas pelo tratamento térmico, que deixa as proteínas menos disponíveis para serem utilizadas.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi investigado o efeito das variáveis do processo de extrusão termoplástica (temperatura, teor de umidade da matéria prima e velocidade de rotação do parafuso) nas características tecnológicas e nutricionais de uma farinha de feijão comum armazenado durante 4 meses a 37°C e 60% de umidade relativa. Algumas conclusões podem ser obtidas pela análise dos resultados observados:

### a. Características tecnológicas

- o índice de absorção de água foi afetado significativamente pela velocidade de rotação do parafuso. O aumento da velocidade elevou o índice de absorção de água até um ponto máximo (aproximadamente 600%), sendo que um aumento maior da velocidade passou a ter um efeito negativo neste índice.
- o índice de solubilidade em água sofreu o efeito das três variáveis estudadas. O índice de solubilidade aumentou proporcionalmente com a elevação da temperatura, do teor de umidade da matéria prima e da velocidade de rotação. No estudo da interação entre as variáveis, observou-se que a temperatura foi a variável que mais afetou o aumento do índice de solubilidade em água.
- as viscosidades das pastas foram influenciadas pelo aumento da temperatura até um certo ponto. Aumentando-se ainda mais a temperatura houve uma tendência acentuada de queda em todas as viscosidades.
- o índice de expansão dos produtos extrusados aumentou com a elevação da temperatura do processo independentemente do teor de umidade da matéria prima. Os valores mais elevados foram encontrados nas regiões de temperaturas intermediárias (130°C) e os valores mais baixos foram encontrados quando utilizou-se altas temperaturas (200°C) com baixos teores de umidade da matéria prima (em torno de 21%).

- o torque também foi afetado pela umidade da matéria prima e pela temperatura do processo. A elevação da temperatura aumentou os valores de torque, ao passo que o aumento do teor de umidade causou uma diminuição nos valores de torque.

- a atividade emulsificante e a estabilidade da emulsão não foram influenciadas significativamente pelas condições empregadas no processo de extrusão. No entanto as farinhas extrusadas apresentaram resultados ligeiramente inferiores aos resultados apresentados pela farinha crua de feijão.

#### b. Características nutricionais

- observou-se que o processo de extrusão diminuiu significativamente as atividades dos fatores antinutricionais (inibidores de tripsina e lectinas), possibilitando deste modo que as farinhas extrusadas possam ser empregadas na fabricação de alimentos.

- quanto à solubilidade das proteínas em diferentes solventes, ficou evidente que durante o processo de extrusão as proteínas do feijão interagiram principalmente através de pontes de hidrogênio e de interações não covalentes do tipo hidrofóbicas e eletrostáticas, visto que a uréia e o dodecil sulfato de sódio (SDS) foram os solventes mais eficazes na solubilização das proteínas extrusadas. Interações covalentes do tipo dissulfeto deveriam ocorrer muito pouco devido aos baixos teores que o feijão apresenta em aminoácidos sulfurados.

- através do ensaio biológico observou-se que o processo de extrusão serve como forma de tratamento térmico para a farinha de feijão. Os resultados obtidos para o valor biológico e utilização líquida da proteína das dietas de farinha de feijão extrusadas foram semelhantes aos resultados obtidos para a dieta de caseína.



Desta forma conclui-se que o processo de extrusão pode ser usado com vantagens para o tratamento térmico da farinha de feijão, principalmente se os grãos estão envelhecidos e não são aceitos para o consumo. Pelos resultados obtidos no estudo das características tecnológicas e nutricionais observou-se que o processo de extrusão tornou a farinha de feijão envelhecido apta para o consumo humano. Pelas características apresentadas, a farinha extrusada pode ser usada para fabricação de alimentos expandidos, alimentos que serão aquecidos durante o seu preparo (tais como sopas, por exemplo) e pode servir também para balancear nutricionalmente alimentos ou dietas, principalmente quanto ao teor protéico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. AGUILERA, J.M.; CRISAFULI, E.B.; LUSAS, E.W.; UEBERSAX, M.A. & ZABIK, M.E. Air classification and extrusion of navy beans fractions. *Journal of Food Science* 49(2), 543-6, 1984.
02. AGUILERA, J.M. & STANLEY, D.W. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes - the influence of storage and processing. *Journal of Food Process of Preservation* 9(3), 145-69, 1985.
03. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS AACC Approved methods. St. Paul, Minnesota, 8th ed., 1983.
04. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F. & GRIFFIN, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 14(1), 4-7, 11-12, 1969.
05. 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.) var. Rosinha G2. *Journal of Food Science* 44(6), 1703-6, 1979.
06. 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 Agriculture and Food Chemistry* 28, 935-8, 1980.
07. ARTZ, W.E.; WARREN, C. & VILLOTA, R. Twin screw extrusion modification of a corn fiber and corn starch extruded blend. *Journal of Food Science* 55(3), 746-50-4, 1990.
08. ASP, N.G. Nutritional aspects: What happens to the different materials at different temperatures? In: O'CONNOR, C. ed., *Extrusion technology for the food industry*, London, Elsevier Applied Science Publishers Ltd, 1987. p.16-21.

09. ASPIROZ, H.S.; PULLAIN, B. & DEBRY, G. Influencia de los tratamientos termicos sobre el valor nutricional de los frijoles (*Phaseolus vulgaris*). *Fitotecnica, Mexico* 4(5), 58-74, 1983.
10. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC - Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, 12nd ed., 1975. 875p.
11. AVIN, D.; KIM, C. & MAGA, J.A. Effect of extrusion variables on the physical characteristics of red bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) flour extrudates. *Journal of Food Process and Preservation* 16(2), 327-35, 1992.
12. AYKROYD, W.R. & DOUGHTY, J. Legumes in human nutrition. *Nutritional Studies* 19, 1-38, 1964.
13. BATTACHARYA, M. & HANNA, M.A. Kinetics of starch gelatinization during extrusion cooking. *Journal of Food Science* 52(3), 764-6, 1987a.
14. BATTACHARYA, M. & HANNA, M.A. Textural properties of extrusion cooked corn starch. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 20(4), 195-201, 1987b.
15. BENDER, A.E. & DOELL, B.H. Procedure for the estimation of relative net protein ration in rats. *Britanic Journal of Nutrition* 11, 140-8, 1957.
16. BENDER, A.E. & MILLER, D.S. A new brief method of estimating net protein value. *The Biochemical Journal* 53(7/8), 4-5, 1953.
17. BENSADOUN, A. & WEINSTEIN, D. Assay of proteins in the presence of interfering materials. *Analytical Biochemistry* 70(1), 241-51, 1976.

18. BJORCK, I. & ASP, N.G. Effects of extrusion cooking on nutritional value - a literature review. *Journal Food Engineering* 2, 281-308, 1983.
19. BJORCK, I.; ASP, N.G.; BUKHED, D. & LUNDQUIST, I. Effects of processing on availability of starch for digestion in vitro and in vivo. I. Extrusion cooking of wheat flours and starch. *Journal of Cereal Science* 2(1), 91-103, 1984.
20. BOX, G.E.P. & HUNTER, J.S. Multifactor experimental designs exploring response surfaces. *Annals of Mathematical Statistics* 28, 195-242, 1957.
21. BUERA, M.P.; POLLIO, M.L.; PILOSO, A.M. & BARTHOLOMAI, G.B. Cinética de la pérdida de nitrógeno soluble y de lisina disponible durante el tratamiento térmico de harinas de porotos (alubias). *Revista de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos* 23(2), 262-68, 1983.
22. BYRRE, H.K.; KON, S. & MORRIS, H.J. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content, temperature and time storage. *Food Technology* 23(3), 336-8, 1968.
23. CAMIRE, M.E. Protein functionality modification by extrusion cooking. *Journal of American Oil Chemists Society* 68(3), 200-5, 1991.
24. CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A. & KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 29(1), 35-57, 1990.
25. CHANG, K.C. & SATTERLEE, L.D. Chemistry of dry bean proteins. *Journal of Food Processing and Preservation* 6, 203-25, 1982.

26. CHAUHAN,G.S. & BAINS,G.S. Effect of some extruder variables on physico chemical properties of extruded rice legume blends. *Food Chemistry* 27(3), 213-224, 1988.
27. CHEFTEL,J.C. Nutritional effects of extrusion cooking. *Food Chemistry* 20(3), 263-83, 1986.
28. CHEFTEL,J.C.; CUQ,J.L. & LORIENT,D. *Proteínas Alimentarias*. Editorial Acribia S.A., Zaragoza, Espan , 1989. 346p.
29. CHINNASWAMY,R. & HANNA,M.A. Expansion, color and shear strength properties of corn starches extrusion cooked with urea and salt. *Starch* 40(5), 186-90, 1988a.
30. CHINNASWAMY,R. & HANNA,M.A. Optimun extrusion cooking conditions for maximun expansion of corn starch. *Journal of Food Science* 53(3), 834-6, 840, 1988b.
31. CHINNASWAMY,R. & HANNA,M.A. Macromolecular and functional properties of native and extrusion cooked corn starch. *Cereal Chemistry* 67(5), 490-9, 1990a.
32. CHINNASWAMY,R. & HANNA,M.A. Relationship between viscosity and expansion properties of variously extrusion cooked corn grain components. *Food Hydrocolloids* 3(6), 423-34, 1990b.
33. CIACCO,C.F. & CRUZ,R. *Fabricação de amido e sua utilização*. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. São Paulo, 1982.
34. DENCH,J.E.; RIVAS,R.N. & CAYGILL,J.C. Selected functional properties of sesame (*Sesamun indicum*, L.) flour and two protein isolates. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 32(6), 557-64,1981.

35. DESPANDHE, S.S.; RANGNEKAR, D.D.; SATHE, S.K. & SALUNKHE, D.K.  
Functional properties of wheat bean composite flours. *Journal Food Science* 48(6), 1659-62, 1983.
36. DESPANDHE, S.S.; SATHE, S.K. & SALUNKHE, D.K. Dry beans of *Phaseolus*: a review part 3. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 21(2), 137-95, 1984.
37. DHURANDHAR, N.V. & CHANG, K.C. Effect of cooking on firmness trypsin inhibitors, lectins and cystine/cysteine content of navy and red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Food Science* 55(2), 470-74, 1990.
38. DIOSADY, L.L. Review of recent studies on the mechanism of starch extrusion. In: MAYER, M.L. & JELEN, P. eds., *Food Engineering and Process Applications - Unit Operations*, New York, 1986.
39. DIOSADY, L.L.; PATTON, D.; ROSEN, N.; RUBIN, L.J. & ATHANASSOULIAS, C. Degradation of wheat starch in a single screw extruder: mechano-kinetic breakdown of cooked starch. *Journal of Food Science* 50(6), 1697-9, 1706, 1985.
40. EGGUM, B.O.; JULIANO, B.O.; IBABAO, M.G.B. & PEREZ, C.M. Effect of extrusion cooking on nutritional value of rice flour. *Food Chemistry* 19(3), 235-40, 1986.
41. EL DASH, A.A. *Thermoplastic extrusion of Food: theory and techniques*. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1982. 81p.
42. EL DASH, A.A.; GONZALES, R. & CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. *Journal Food Engineering* 2(2), 129-52, 1983.

43. EL NAHRY, F.; DARWISH, N.M. & THARWAT, S. Effect of preparation and cooking on the nutritive value of local kidney bean (*Phaseolus vulgaris* var. Giza 3). *Qualitas Plantarum - Plants Foods for Human Nutrition* 27(2), 141-50, 1977.
44. ESTEVEZ, A.M. & LUH, B.S. Chemical and physical characteristics of read to eat dry beans. *Journal of Food Science* 50, 776-81, 1985.
45. FAO - FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION Yearbook production 44, Statistics series n. 99, Rome, FAO, 1990.
46. FAPOJUWO, O.O.; MAGA, J.A. & JANSEN, G.R. Effect of extrusion cooking on in vitro protein digestibility of sorghum. *Journal of Food Science* 52(1), 218-9, 1987.
47. FAUBION, J.M. & HOSENEY, R.C. HTST extrusion cooking of native and reconstituted flours: effects of protein and lipid on the extruded product. *Cereal Foods World* 25(8), 527. 1980.
48. FAUBION, J.M. & HOSENEY, R.C. HTST extrusion cooking of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudates properties. *Cereal Chemistry* 59(6), 529-33, 1982.
49. FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C. & SEIB, P.A. Functionality of grain components in extrusion. *Cereal Foods World* 27(5), 212-6, 1982.
50. GOMES, F.P. *Curso de Estatística Experimental*. Livraria Nobel S.A. ed., Piracicaba-SP, 12ª edição, 1987. 467p.
51. GOMES BRENES, R.; ELIAS, L.G.; MOLINA, M.R.; 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. *Nutrition aspects of common beans and other legume seeds as animal and human foods*. Caracas, Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 1975. p.93- 108.

52. GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. *Journal Food Science* 48(2), 378-81, 1983.
53. GOMEZ, M.H. & AGUILERA, J.M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *Journal of Food Science* 49(1), 40-3, 63, 1984.
54. GUALBERTO, D.G.; BICUDO, M.H. COELHO, D.T.; MAFFIA, L.M. & TEIXEIRA, S.M. Avaliação nutricional de misturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e soja (*Glycine max* L.) processados por extrusão. *Revista Ceres* 29(163), 233-41, 1982.
55. GUERIVIERE, J.F. Texturation de protéines végétales par cuisson - extrusion: application aux farines de féverole. *Revue Française des Corps Gras* 23(2), 67-73, 1976.
56. GUJSKA, E. & KHAN, K. Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science* 55(2), 466-9, 1990.
57. GUJSKA, E. & KHAN, K. Functional properties of extrudates from high starch fraction of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fraction. *Journal of Food Science* 56(2), 431-5, 1991a.
58. GUJSKA, E. & KHAN, K. High temperature extrusion effects on protein solubility and distribution in Navy and Pinto beans. *Journal of Food Science* 56(4), 1013-6, 1991b.
59. GUTIÉRREZ, R.R.; ROMANO, M.A. & GOMEZ, M.H. Evaluación nutricional y de estabilidad durante el almacenamiento de mezclas extruidas con sorgo. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 37(3), 503-14, 1987.



60. HAGER,D.F. Effects of extrusion upon soy concentrate solubility.  
Journal of the Agricultural Food chemistry 32(2), 293-6, 1984.
61. HAN,J.Y. & KHAN,K. Functional properties of pin milled and air  
classified dry edible bean fractions. Cereal Chemistry  
67(4), 390-4, 1990.
62. HARPER,J.M. Food extrusion. Critical Reviews in Food Science and  
Nutrition 11(2), 155-215, 1979.
63. HAUCK,B.W. Marketing opportunities for extrusion cooked products.  
Cereal Foods World 25(9), 594-5, 1980.
64. HEGSTED,M.D.; MILLS,R.C.; ELVEHJEM,C.A. & HART,E.B. Choline in the  
nutrition of chicks. Journal Biological Chemistry  
138, 459-66, 1941.
65. HÓRVATH,E.; PETRES,J.; GELENSER,E. & CZUKOR,B. Effect of extrusion  
temperature on physico chemical properties and biological value  
of soy bean protein. Acta Alimentaria 18(3), 299-311, 1989.
66. HUSSEIN,M.A. & NOAMAN,M.A. Cooking stability of proteins and  
essential amino acids in green beans pods and dry bean seeds.  
Acta Alimentaria 5(2), 129-33, 1976.
67. JEUNINK,J. & CHEFTEL,J.C. Chemical and physicochemical changes in  
field bean and soybean proteins texturized by extrusion. Journal  
Food Science 44(5), 1322-28, 1979.
68. JONES,P.M.B. & BOULTER,D. The cause of reduced cooking rate in  
*Phaseolus vulgaris* following adverse storage conditions. Journal  
Food Science 48(2), 623-49, 1983.

69. JOOD, S.; CHAUHAN, B.M. & KAPOOR, A.C. Protein digestibility (in vitro) of chickpea and black gram seeds as affected by domestic processing and cooking. *Qualitas Plantarum - Plants Food for Human Nutrition* 39(2), 149-54, 1989.
70. JUNQUEIRA, R.G. & SGARBIERI, V.C. Isolation and general properties of lectins from the bean (*Phaseolus vulgaris* var. Rosinha G2). *Journal Food Biochemistry* 5, 165-79, 1981.
71. KAKADE, M.L.; SIMONS, N. & LIENER, I.E. An evaluation of material vs. synthetic substrates for measuring the antitryptic activity of soybean samples. *Cereal Chemistry* 46(5), 518-26, 1969.
72. KAMER, J.H.V. & GINKEL, L.V. Rapid determination of crude fiber in cereals. *Cereal Chemistry* 29(4), 239-51, 1952.
73. KATARIA, A.; CHAUHAN, B.M. & PUNIA, D. Antinutrients and protein digestibility (in vitro) of mung bean as affected by domestic processing and cooking. *Food Chemistry* 32(1), 9-17, 1989.
74. KHAN, M.A. & GHAFOR, A. The effect of soaking, germination and cooking on the protein quality of mash beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal Science and Food and Agriculture* 29, 461-4, 1978.
75. KHOKHAR, S. & CHAUHAN, B.M. Effect of domestic processing and cooking on in vitro protein digestibility of moth bean. *Journal of Food Science* 51(4), 1083-4, 1986.
76. KINSELLA, J.E. Functional properties of proteins in foods: a survey. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 7(3), 219-80, 1976.

77. KINSELLA, J.E. Texturized proteins: fabrication, flavoring and nutrition. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 10(2), 147-207, 1978.
78. KON, S. & SANSHUCK, D.W. Phytate content and its effect on cooking quality of beans. *Journal of Food Preservation* 5(3), 169-78, 1981.
79. KOSSON, R. & BAKOWSKI, J. The effect processing on nutritional quality of bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Alimentaria Polonica* 12(3/4), 197-204, 1986.
80. LAI, L.S. & KOKINI, J.L. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (as review). *Biotechnology Progress* 7, 251-66, 1991.
81. LINKO, P.; COLONNA, P. & MERCIER, C. High temperature, short time extrusion cooking. *Advances in Cereal Science and Technology* 4, 145-235, 1981.
82. LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH, N.J.; LEWIS FARR, A. & RANDALL, R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *The Journal of Biological Chemistry* 193, 265-75, 1951.
83. MARQUES, L.M.R. Efeito da temperatura de extrusão, umidade da matéria prima, teor de amido e sacarose nas características tecnológicas e nutricionais de produtos extrusados de germe de trigo. Campinas, 1992. Tese (mestrado). FEA/UNICAMP. 192p.
84. MASON, W.R. & HOSENEY, R.C. Factors affecting the viscosity of extrusion cooked wheat starch. *Cereal Chemistry* 63(5), 436-41, 1986.
85. Mc LAUGHLAM, J.M. Nutritional evaluation of proteins by biological methods. *Cereal Science Today* 17(6), 162-5, 1972.

86. MEJIA, E.G. Efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre el desarrollo de la dureza del frijol. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 32(2), 258-74, 1982.
87. MERCIER, C. & FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. *Cereal Chemistry* 52(3), 283-97, 1975.
88. MITCHELL, H.H. A method of determining the biological value of protein. *Journal of Biological Chemistry* 58(3), 873-903, 1923.
89. MOLINA, M.R.; BATEN, M.A.; GOMES BRENES, R.A.; KING, K.W. & BRESSANI, R. Heat treatment a process to control the development of the hard to cook phenomenon in black beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal Food Science* 41(3), 661-6, 1976.
90. MOLINA, M.R.; DE LA FUENTE, G. & BRESSANI, R. Interrelationships between storage, soaking time cooking time, nutritive value and other characteristics of the black bean (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Food Science* 40(3), 587-91, 1975.
91. NOOR, M.I.; BRESSANI, R. & ELIAS, L.G. Changes in chemical and selected biochemical components, protein quality and digestibility of mung bean (*Vigna radiata*) during germination and cooking. *Qualitas Plantarum - Plant Foods for Human Nutrition* 30(2), 135-44, 1980.
92. NUTRITIONAL BIOCHEMICALS CORPORATION Diet Catalog of ICN. Cleveland, Ohio, 1977/1978. 24p.
93. OWUSUH-ANSAH, J.; VOORT, F.R. & STANLEY, D.W. Physicochemical changes in corn as a function of extrusion variables. *Cereal Chemistry* 60(4), 319-24, 1983.

94. PAK,N. & ARAYA,H. Frijol extru do: potencialidad de su utilizacion en la alimentacion infantil. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 31(4), 371-83, 1981.
95. PAK,N.; MATELUNA,A. & ARAYA,H. Efecto de diversos tratamientos termicos en el contenido de hemaglutininas y en la calidad proteica del frijol. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 28(2), 184-95, 1978.
96. PEIXOTO,J.L. Hierarchical variable selection in polynomial regresion models. *The Amerian Statiscian* 41(4), 311-3, 1987.
97. PELLET,P.L. & YOUNG,V.R. Evaluacion nutricional de alimentos proteinicos. Tokyo, La Universidad de las Naciones Unidas, 1980, 175p.
98. PHAM,C.B. & DEL ROSARIO,R.R. Studies on the development of texturized vegetable products by the extrusion process. I. Effect of processing variables on protein properties. *Journal of Food Technology* 19(5), 535-47, 1984a.
99. PHAM,C.B. & DEL ROSARIO,R.R. Studies on the developement of texturized vegetable products by the extrusion process. II. Effects of extrusion variables on the available lysine, total and reducing sugars. *Journal of Food Technology* 19(5), 549-59, 1984b.
- 100.PILOSOFF,A.M.R.; BARTHOLOMAI,G.B. & CHIRIFE,J. Kinetics of nitrogen solubility ions in heated flour and protein isolates from beans. *Journal of Food Science* 47(1), 4-7, 1981.
- 101.PILOSOFF,A.M.R.; BARTHOLOMAI,G.B.; CHIRIFE,J. & BOQUET,R. Effect of heat treatment on sorption isotherms and solubility of flour and protein isolates from bean *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Food Science* 47(6), 1288-90, 1982.

102. RICHMOND, P. & SMITH, A.C. The influence of processing on biopolimeric structures. *British Polymers Journal* 17(2), 246-50, 1985.
103. RIVERA, J.A.; HOLBERG, A.I.; AGUILERA, J.M.; PLHAK, L.C. & STANLEY, D.W. Hard to cook defect in black beans - peroxidase characterization and effect of heat pretreatment and storage conditions on enzyme inactivation. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 22(3), 270-5, 1989.
104. SALUNKHE, D.K.; KADAM, S.S. & CHAUHAN, J.K. *Postharvest biotechnology of food legumes*. Boca Raton, Florida, 1985. p. 29-46.
105. SATWADHAR, P.N.; KADAM, S.S. & SALUNKHE, D.K. Effects of germination and cooking on polyphenols and in vitro protein digestibility of horse gram and moth bean. *Qualitas Plantarum - Plants Foods for Human Nutrition* 31(1), 71-6, 1981.
106. SEIB, P.A. *An introduction to food extrusion*. Department of grain Science and Industry. Kansas State University, Manhattan, KS 66506, 1976. 215p.
107. SGARBIERI, V.C. Composição e valor nutritivo do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). In: BULISANI, E.A. ed. *Feijão: fatores de produção e qualidade*. Campinas, Fundação Cargil, 1987. p.257-326.
108. 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(6), 1306-8, 1979.
109. SGARBIERI, V.C. & GARRUTI, R.S. A review of some factors affecting the availability and nutritional and technological quality of common dry beans, a dietary staple in Brazil. *Canadian Institute of Food Science Technological Journal* 19(5), 202-9, 1986.

110. SKIERKOWSKI, K.; GUJSKA, E. & KHAN, K. Instrumental and sensory evaluation of textural properties of extrudates from blends of high starch/high protein fractions of dry beans. *Journal of Food Science* 55(4), 1081-1083-7, 1990.
111. SMITH, O.B. Technical aspects of extrusion. *Cereal Foods World* 24(4), 132-140, 1979.
112. SRISUMA, N.; HAMMERSCHMIDT, R.; UEBERSAX, M.A.; RUENGSAULRACH, S.; BENNINK, M.R. & HOSFIELD, G.L. Storage induced changes of phenolic acids and deveopment of hard to cook in dry beans (*Phaseolus vulgaris* var. Seafarer). *Journal Food Science* 54(2), 311-4, 1989.
113. TARANTO, M.V.; MEINKE, W.W.; CATER, C.M. & MATTEL, K.F. Parameters affecting production and character of extrusion texturized defatted glandless conttonseed meal. *Journal of Food Science* 40(6), 1264-9, 1975.
114. TSUKAMOTO, I.; MIYOSHI, M. & HAMAGUCHI, Y. Heat inactivation of trypsin inhibitor in kintoki bean (*Phasseolus vulgaris*). *Cereal Chemistry* 60(3), 194-7, 1983.
115. VOUTSINAS, L.P.; CHEUNG, E. & NAKAI, S. Relationships of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins. *Journal Food Science* 48(1), 26-32, 1983.
116. WEN, L.F.; RODIS, P. & WASSERMAN, B.P. Starch fragmentation and protein insolubilization during twin screw extrusion of corn meal. *Cereal Chemistry* 67(3), 268-75, 1990.
117. YADAV, N.R. & LIENER, I.E. Nutritional evaluation of dry roasted navy bean flour and mixtures with cereal proteins. *Advances Experimentals Medical Biology* 105, 401-13, 1978.