

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Efeito da temperatura de extrusão e do teor de
proteína da farinha de soja desengordurada na
qualidade do macarrão instantâneo de arroz

Atilio Enrique Liceti Dibós
Engenheiro de Alimentos

Prof. Dr. Ahmed El-Dash
Orientador


El-Dash, Ahmed A. (-)

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


Parecer

Este exemplar correto - CAMPINAS - SÃO PAULO
possui a rubrica final 1993
da Tese defendida por
Atilio Enrique Liceti Dibós
e aprovada pela Comissão
Julgadora em 21.12.93


Banca Examinadora




Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
(Orientador)



Prof. Dr. Yoon Kil Chang
(Membro)



Profa. Dra. Clarice A. Freire
(Membro)



Prof. Dr. Olavo Rusig
(Membro)

Campinas, 21 de dezembro de 1993

Ser mestre não implica em títulos
ou reconhecimento exterior; é a auto
aceitação e reconhecimento interno
do nosso verdadeiro ser, a nossa
Presença Divina que é o fogo sagrado
que arde e resplandece em nossos
corações como uma trança de Luz.

A minha querida esposa
e companheira de caminhada,
Viviane; dedico.

Agradecimentos

Agradeço à Luz de minha Presença Divina pelo suave fluir.

Ao professor Ahmed pela visão e lucidez na orientação.

Ao Departamento de Tecnologia da FEA-UNICAMP e especialmente ao laboratório de cereais pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Departamento de Sementes, Mudanças e Matrizes do Instituto Agronômico de Campinas pela doação do arroz.

À sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro (SANBRA) pela doação da farinha de soja desengordurada.

Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) pelo uso do viscoamilógrafo e do texturômetro.

Aos amigos do laboratório: Normandis, Stefan, Tetê, Andreia, Manolo, Luiza, Cristina pela descontração e alegria.

Aos funcionários: Nilo, Elena, Alice, José, Liana, Cristiane, Judite, Creusa, Geraldo, Claudia, Marçal, Suzy, Natalina, Marlene, Marcos e outros pela ajuda e amizade.

Ao Conselho Nacional de pesquisa e desenvolvimento (CNPq) pela concessão da bolsa de pesquisa.

Agradeço também a todos os que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

. ÍNDICE DE TABELAS	vi
. ÍNDICE DE FIGURAS	ix
. SUMÁRIO	1
. SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. PROCESSO DE EXTRUSÃO	6
2.1.1. Modificações Físico-químicas	7
1. Amido	8
2. Proteínas	10
2.1.2. Valor Nutricional	12
1. Amido	12
2. Proteínas	14
2.2. O MACARRÃO CONVENCIONAL	18
2.2.1. Aspectos Gerais	18
2.3. MACARRÃO COM MATÉRIAS-PRIMAS E PROCESSO NÃO CONVENCIONAIS	24
2.4. VALOR NUTRICIONAL DO ARROZ	27
2.5. SUPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL DE CEREAIS COM LEGUMINOSAS	30

2.6.	DIFICULDADES AMBIENTAIS PARA A PRODUÇÃO DE TRIGO DURUM	31
3.	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1.	MATERIAL	33
3.1.1.	Matéria-prima	33
3.1.2.	Equipamento	33
3.1.3.	Animais	33
3.1.4.	Reagentes	34
3.2.	MÉTODOS	34
3.2.1.	Delineamento e Análise Estatística	34
3.2.2.	Métodos Experimentais	38
1.	Preparo das matérias-primas	38
2.	Condicionamento das matérias-primas	39
3.	Processamento	39
3.2.3.	Métodos Analíticos	40
1.	Umidade	40
2.	Proteína	40
3.	Cinzas	41
4.	Gorduras	41
5.	Carboidratos	41
6.	Índice de absorção de água	41

7.	Índice de solubilidade em Água	41
8.	Viscosidade	42
9.	Determinação de Cor	43
10.	Determinação de Texturas	43
11.	Teste de Cozimento	46
	a. Tempo de Cozimento	46
	b. Aumento de Peso	46
	c. Aumento de Volume	47
	d. Perda de Sólidos Solúveis	47
12.	Atividade Ureática	48
13.	Índice de Proteína Dispersível	48
3.2.4.	Métodos Biológicos	49
	1. Descrição	49
	2. Preparo das dietas	51
	3. Quociente de Eficiência Protéica	53
	4. Quociente Protéico Líquido	54
	5. Digestibilidade Verdadeira	54
	6. Valor Biológico Verdadeiro	55
	7. Utilização Líquida Verdadeira de Proteína	55

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA ARROZ-SOJA ..	57
4.1.1. Índice de Absorção de Água	57
4.1.2. Índice de Solubilidade em Água	59
4.1.3. Índice de Proteína Dispersível	60
4.1.4. Determinação da Urease	61
4.1.5. Determinação de Viscosidade	62
4.2. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E DO TEOR DE PROTEÍNA DA FARINHA DE SOJA DESEN- GORDURADA NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO MACARRÃO DE ARROZ	63
4.2.1. Índice de Absorção de Água	63
4.2.2. Índice de Solubilidade em Água	67
4.2.3. Determinação de Cor	71
1. Componente L*	72
2. Componente a*	74
3. Componente b*	78
4. Índice de Amarelo	82
4.2.4. Índice de Proteína Dispersível	85
4.2.5. Atividade Ureática	89
4.2.6. Determinação de Textura	90
4.2.7. Determinação de Viscosidade	94

1. Viscosidade Inicial a 30°C	94
2. Viscosidade a 90°C	97
4. Viscosidade a 50°C	100
4.2.8. Teste de Cozimento	103
1. Aumento de Peso	103
2. Aumento de Volume	104
3. Perda de Sólidos Solúveis	108
4.3. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E DO TEOR DE PROTEÍNA DA FARINHA DE SOJA DESENGORDURADA NA QUALIDADE NUTRICIONAL DO MACARRÃO DE ARROZ	111
5. CONCLUSÕES	115
6. BIBLIOGRAFIA	116

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1:	Conteúdo de Proteína do trigo Durum e outros cereais	18
Tabela 2:	Composição de massa convencional e enriquecida com 10% de proteína concentrada de feijão fava	23
Tabela 3:	Composição de aminoácidos de macarrão simples e com adição de queijo, em relação à FAO	23
Tabela 4:	Conteúdo de nutrientes de massas alimentícias e seus molhos	24
Tabela 5:	Qualidade Nutricional de amostras de arroz moído	28
Tabela 6:	Composição Média de Cereais	29
Tabela 7:	Frações Protéicas dos Cereais	29
Tabela 8:	Composição aproximada de aminoácidos cereais	30
Tabela 9:	Valores codificados das variáveis independentes com seus respectivos níveis de variação	34
Tabela 10:	Delineamento experimental composto rotacional para duas variáveis em três níveis	36
Tabela 11:	Tratamentos utilizados nas características nutricionais do macarrão de arroz	50
Tabela 12:	Composição centesimal das dietas utilizadas nos ensaios biológicos	52
Tabela 13:	Composição centesimal da mistura salina utilizada nas dietas para os ensaios biológicos	52
Tabela 14:	Composição da mistura vitamínica utilizada nas dietas para os ensaios biológicos	53

Tabela 15:	Caracterização da matéria-prima arroz-soja em função do teor de proteína	57
Tabela 16:	Valores experimentais do Índice de Absorção de Água (IAA) com as variáveis do processo de extrusão	63
Tabela 17:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o Índice de Absorção de Água (IAA)	64
Tabela 18:	Valores experimentais do Índice de Solubilidade em Água (ISA) com as variáveis do processo de extrusão	67
Tabela 19:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o Índice de Solubilidade em Água (ISA)	68
Tabela 20:	Valores experimentais da determinação de cor dos componentes L*, a* e b* de Hunter e o índice de amarelo em macarrão de arroz	71
Tabela 21:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o componente L* (brilho)	73
Tabela 22:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o componente a*	76
Tabela 23:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o componente b*	78
Tabela 24:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o Índice de Amarelo (IA)	83
Tabela 25:	Valores do Índice de Proteína Dispersível (IPD) em macarrão de arroz	86
Tabela 26:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o Índice de Proteína Dispersível (IPD)	87
Tabela 27:	Valores da atividade ureática (AU) do macarrão de arroz ...	90

Tabela 28:	Valores de textura do macarrão de arroz	90
Tabela 29:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura	91
Tabela 30:	Valores experimentais da viscosidade do macarrão de arroz .	94
Tabela 31:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a viscosidade inicial a 30°C	95
Tabela 32:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a viscosidade a 90°C	97
Tabela 33:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a viscosidade a 50°C	100
Tabela 34:	Valores experimentais do teste de cozimento do macarrão de arroz	103
Tabela 35:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o aumento de peso	104
Tabela 36:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o aumento de volume	106
Tabela 37:	Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a perda de sólidos solúveis	108
Tabela 38:	Valores experimentais das análises nutricionais do macarrão de arroz	111
Tabela 39:	Valores das estimativas dos contrastes ortogonais estudados nas análises nutricionais, e seus respectivos intervalos de confiança	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Produção mundial de amiláceos	26
Figura 2:	Preço relativo de algumas farinhas no mercado internacional	26
Figura 3:	Representação sólida de cor com seus componentes do sistema Hunter, corrigidos pela CIE	45
Figura 4:	Efeito do teor de proteína da matéria-prima no índice de absorção de água (IAA)	58
Figura 5:	Efeito do teor de proteína da matéria-prima no índice de solubilidade em água (ISA)	59
Figura 6:	Efeito do teor de proteína da matéria-prima no índice de proteína dispersível (IPD)	60
Figura 7:	Efeito do teor de proteína da matéria-prima na atividade ureática (AU)	61
Figura 8:	Efeito do teor de proteína da matéria-prima na viscosidade (V)	62
Figura 9:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no índice de absorção de água (IAA) em macarrão de arroz	66
Figura 10:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no índice de solubilidade em água (ISA) em macarrão de arroz	70
Figura 11:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no componente L*, em macarrão de arroz	75
Figura 12:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no componente a*, em macarrão de arroz	77

Figura 13:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no componente b^* , em macarrão de arroz	80
Figura 14:	Correlação visual dos componentes de cor do sistema Hunter	81
Figura 15:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no índice de amarelo (IA) em macarrão de arroz	84
Figura 16:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no índice de proteína dispersível (IPD) em macarrão de arroz	88
Figura 17:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, na textura do macarrão de arroz	93
Figura 18:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, na viscosidade inicial a $30^{\circ}C$ (V_{30}) em macarrão de arroz	96
Figura 19:	Efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima, na viscosidade a $90^{\circ}C$ (V_{90}) em macarrão de arroz	99
Figura 20:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, na viscosidade a $50^{\circ}C$ (V_{50}) em macarrão de arroz	102
Figura 21:	Efeito do teor de proteína da matéria-prima, no aumento de peso de macarrão de arroz	105
Figura 22:	Efeito do teor de proteína da matéria-prima, no aumento do volume em macarrão de arroz	107
Figura 23:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, na perda de sólidos solúveis em macarrão de arroz	110
Figura 24:	Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, para cada avaliação nutricional em macarrão de arroz	114

SUMÁRIO

O efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da farinha de soja desengordurada (FSD) na qualidade tecnológica e nutricional do macarrão instantâneo de arroz foi estudado.

Farinha de arroz foi misturada com vários níveis de FSD para se obterem teores de proteína de 15, 20 e 25%. A matéria-prima com os diversos níveis de proteína foi processada num extrusor de rosca única às temperaturas de 80, 100 e 120°C. O macarrão foi submetido aos vários testes tecnológicos para avaliar sua qualidade, tais como: índice de absorção e de solubilidade em água; viscosidades inicial a 30°C, a 90°C (no aquecimento) e a 50°C (no resfriamento); índice de proteína dispersível e teste de cozimento, avaliando-se a cor, aumento de peso e volume, perda de sólidos solúveis e firmeza do macarrão cozido. Os resultados dos testes tecnológicos foram estatisticamente avaliados pelo modelo de superfície de resposta. O macarrão também foi avaliado nutricionalmente, usando-se os seguintes testes: Quociente de eficiência protéica (PER), quociente protéico líquido (NPR), valor biológico (VB), digestibilidade e utilização líquida de proteína (NPU).

Com o aumento da temperatura de extrusão verificou-se que índice de absorção (IAA), e de solubilidade em água (ISA) e a viscosidade inicial a 30°C (V_{30}) aumentavam, e a viscosidade a 90°C (V_{90}) e a capacidade de retrogradação diminuíram. O aumento da temperatura de extrusão influenciou também as características do macarrão cozido, tais como aumento do brilho e da cor amarela.

Ao se aumentar o teor de proteína verificou-se que o IAA até 20%, o ISA e o índice de proteína dispersível (IPD) aumentavam e V_{30} diminuía. Foi concluído também que com o aumento do teor de proteína do macarrão cozido, o seu brilho, sua cor amarela, seu volume, seu peso e a perda de sólidos solúveis aumentava, enquanto que a firmeza do macarrão diminuía.

O valor nutricional do macarrão também foi influenciado com a temperatura de extrusão e com o teor de proteína da FSD.

Com o aumento da temperatura de extrusão verificou-se aumento no valor quociente protéico líquido (NPR), e com o aumento do teor de proteína da matéria-prima verificou-se uma diminuição no valor do quociente de eficiência protéica

(PER). O maior valor de PER foi atingido com a menor porcentagem de suplementação (12,9% de proteína), indicando o melhor balanço de aminoácidos.

SUMMARY

The effect of extrusion temperature and protein level of deffated soybean flour (DSF) on the quality of instant rice pasta was studied.

Rice flour was mixed with various levels of DSF to obtain protein levels of 15,20 and 25%. The raw material with the various protein levels, was processed in a single-screw extrusor, with temperatures of 80,100 and 120°C. The pasta was submitted to various technology tests to evaluate, including: water absorption and solubility indices, initial viscosity at 30°C, and viscosity at 90°C (rising) and at 50°C (falling), protein dispersibility index (PDI), and the cooking test to evaluate color, gain in weight and volume, soluble solids loss and firmness of cooked pasta. All of the technological quality tests were statistically evaluated with response surface models. The pasta was also nutritionally evaluated using the following tests: protein efficiency ratio (PER), net protein ratio (NPR), biological value (BV), digestibility and net protein utilization (NPU).

With increasing extrusion temperature the water absorption (WAI) and solubility indices (WSI), and initial viscosity at 30°C (V_{30}) increased, and the viscosity at 90°C (V_{90}) and the retrogradation capacity, decreased. The increase in extrusion temperature also influenced the characteristics of the cooked pasta, such as increase of brightness and yellowness.

With increasing the protein level, to 20% the WAI, the WSI and the PDI increased and V_{30} decreased. Also, with increasing the protein level of the cooked pasta, the brightness, the yellowness, volume, weight and the soluble solids loss, increased, but the firmness decreased.

The nutritional value of the pasta was also affected by extrusion temperature and protein level of the DSF. With increasing extrusion temperature it was found that the NPR increased, and with increasing protein level the PER decreased. The maximum value of the PER was reached with the lowest level of protein assayed (12,9% of protein) indicating a better balance of aminoacids.

1. Introdução

Na fabricação convencional de macarrão, a matéria prima mais adequada para sua elaboração é a semolina proveniente do trigo Durum, devido ao seu alto conteúdo de proteínas (9-18%) e de pigmentos amarelos (BLANCO et alii, 1988) e às suas características de qualidade após a cocção, tais como: alta capacidade de absorção de água, baixa perda de sólidos e firmeza (DICK & YOUNGS, 1988).

Devido a fatores climáticos e pedológicos, especificamente à acidez do solo, o Brasil não produz este tipo de trigo com alto teor proteico, próprio para a produção de pastas alimentícias (BRAUNER, 1982). Para esta finalidade usa-se uma mistura de trigos moles nacionais e duros importados com resultados inferiores aos produzidos com semolina de trigo Durum.

Para suprir a crescente demanda de trigo, que não tem sido atenuada nem com o aumento da produção nacional, o Brasil tem se mantido na posição de tradicional importador de trigo. Os dispêndios com trigo importado aumentaram drasticamente no período 1972-81, não só devido ao aumento das quantidades necessárias para cobrir o déficit na oferta de trigo nacional, mas principalmente, devido à elevação de até 200% no preço do trigo importado (TOMASINI, 1982).

Para se evitar ou diminuir o grande dispêndio de divisas com a importação, pode-se usar matérias primas alternativas nacionais para a fabricação de macarrão. Entre estas matérias primas alternativas, encontram-se o arroz, o milho, a mandioca entre outros, sendo que suas proteínas estão em menor quantidade e qualidade que as do trigo Durum, e desta maneira incapazes de formar uma rede elástica (PAGANI, 1986). A este respeito EL-DASH (1990) mostrou que a partir de farinhas de cereais não provenientes do trigo, com altos teores de amido e baixos teores de proteína, quando submetidas a altas temperaturas e forças de cisalhamento pelo processo de extrusão, induz à modificações na estrutura do amido, com conseqüente formação de uma estrutura elástica semelhante à obtida com o macarrão de trigo.

O arroz assim como todos os cereais, possui na sua composição protéica, um aminoácido (lisina) em proporção inferior aos outros aminoácidos, acarretando desta maneira um desequilíbrio no seu balanço, e assim a diminuição do valor nutricional da proteína (SHELLENBERGER, 1978). A soja também possui de-

ficiência no seu balanço de aminoácidos, sendo esta nos aminoácidos sulfurados cistina e metionina (LIENER, 1972). Com a mistura de arroz e soja, estaremos tentando suplementar o desequilíbrio de aminoácidos, e portanto obtendo um produto com melhor valor nutricional.

O objetivo do trabalho é o de estudar o efeito da temperatura de extrusão termoplástica e do teor protéico da farinha de soja desengordurada na qualidade do macarrão instantâneo de arroz.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Processo de Extrusão

O extrusor consiste basicamente de um parafuso de Arquimedes, que gira de maneira equilibrada dentro de um tubo ou cilindro. O extrusor se diferencia de um parafuso transportador, por possuir uma rosca de pouca profundidade e mecanismos que causam a compressão do material alimentício, até ser liberado pela matriz (HARPER, 1979).

O extrusor é simultaneamente uma bomba, um misturador, um trocador de calor, um aparelho formatador e provavelmente um reator químico. Dependendo do desenho, o extrusor pode ter as características de uma bomba centrífuga ou de pistão.

A função de misturador é obtida pelo desvio do fluxo devido ao contra-fluxo, causado pelo aumento da pressão ao longo do cilindro do extrusor. O extrusor se comporta como trocador de calor, devido ao calor gerado pela fricção do material, contra as paredes do cilindro e da rosca, pela rotação da mesma. Como aparelho formatador, forçando a massa fundida e plástica através de uma matriz com um ou vários orifícios, com formato definido. Cumpre a função de reator químico, pelo fato de estar intimamente relacionado com o calor, o extrusor é capaz de cozinhar, gelatinizar, desnaturar e esterilizar (CLARK, 1978).

Devido ao calor gerado pelo atrito mecânico e pelo calor fornecido por uma camisa de vapor ou mesmo diretamente, o material alimentício alcança uma viscosidade capaz de produzir o efeito desejado, nas condições de operação (LINKO et alii, 1981).

O extrusor é visto como um reator químico de processamento de biopolímeros e de misturas alimentícias, onde são usadas altas temperaturas (até 250°C) num tempo de residência relativamente curto (1-2 min), altas pressões (até 25 MPa), sob grande força de atrito e na maioria dos casos, em baixos conteúdos de água (abaixo de 30%) (CHEFTEL, 1986).

A extrusão termoplástica é introduzida como um processo de cocção, em que a matéria prima é submetida a uma alta temperatura em um curto período de

tempo de processo (WIEDMAN & STROBEL, 1986).

O resultado da cocção durante o processo de extrusão é a gelatinização do amido, desnaturação de proteínas, inativação enzimática, destruição de substâncias tóxicas tais como o inibidor de tripsina e hemaglutininas em soja e diminuição da contagem microbiana no produto final.

O processo a alta temperatura e curto período de tempo (HTST) realizado pelo extrusor deve ser considerado também como um processo de texturização, onde o material farináceo ou granular é transformado em uma massa plástica e viscosa.

Dependendo do desenho do extrusor e das condições de operação, as estruturas dos biopolímeros são reorientados em estruturas laminares ou fibrosas (HARPER, 1981).

Durante o processo de extrusão há abertura das estruturas terciárias e quaternárias dos biopolímeros, resultando na quebra e rearranjo das pontes de hidrogênio e dissulfídicas, permitindo a plastificação e a formação de texturas desejáveis (OLKKU & LINKO, 1977).

2.1.1 Modificações Fisico-químicas

1. Amido

O tratamento térmico com umidade em cereais, raízes ou tubérculos, isto é, em materiais amiláceos, induz a modificações fisico-químicas dos grânulos de amido e seus constituintes, produzindo mudanças texturais e reológicas, aumentando a digestibilidade e a disponibilidade do amido como fonte energética (CHEFTEL, 1986).

A extrusão, dependendo das condições do processo e a composição do material amiláceo, causa expansão e ruptura dos grânulos de amido, modificações no espectro cristalino, solubilidade em água fria, redução da viscosidade e completa liberação de amilose e amilopectina (LINKO et alii, 1981).

MERCIER & FEILLET (1975) observaram que com o aumento da temperatura de extrusão em "grits" de milho havia aumento no índice de so-

lubilidade em água (ISA) e diminuição na viscosidade da pasta a 50°C. Observaram também que com o aumento da umidade do material havia decréscimo no ISA e na expansão; contrariamente, a viscosidade da pasta a 50°C e o índice de absorção de água (IAA) aumentavam, com o aumento do conteúdo de água dos "grits" de milho após a extrusão.

Não foram achadas diferenças estruturais entre semolina de milho nativo e extrusado a 65°C, porém a 207°C e à mesma umidade, foi observada uma expansão nos grânulos de amido sem a presença de quebra (MERCIER et alii, 1979).

Observaram-se deformações progressivas nos grânulos de amido de trigo, com o incremento da temperatura no processo de extrusão (KIM & ROT-TIER, 1980).

O grau de gelatinização aumenta quando aumenta a temperatura de extrusão, e diminui quando aumenta a velocidade do parafuso e o diâmetro da matriz. A gelatinização não é afetada significativamente pela umidade em baixas temperaturas de extrusão (65 e 80°C), porém ela é afetada quando a temperatura é alta (95 e 110°C) (CHIANG & JOHNSON, 1977).

No processo de extrusão de amido, a fração solúvel em água é aumentada com o aumento de temperatura e da velocidade do parafuso. Contrariamente ao aumento da solubilidade em água, a viscosidade intrínseca diminui. Desde que a estrutura química primária não tenha sido modificada pelo processo, a redução da viscosidade intrínseca indica que o amido foi provavelmente degradado em macromoléculas de baixo peso molecular (MERCIER, 1986).

A determinação da viscosidade e do peso molecular indicam claramente que a amilose e a amilopectina foram parcialmente hidrolizadas em maltodextrinas, como resultado da elevada força de cisalhamento em amido de trigo (COLONNA et alii, 1984).

GOMEZ & AGUILERA (1984), observaram valores muito altos de IAA e viscosidade de pasta (VP) em amostras gelatinizadas e extrusadas de amido de milho, devido à presença de longas cadeias poliméricas. Em amostras enzimaticamente dextrinizadas e extrusadas, obtiveram valores máximos de

sucetibilidade enzimáticas (SE) e ISA, enquanto que o IAA e VP foram menores que as amostras previamente gelatinizadas. Isto devido provavelmente à quebra e diminuição das cadeias poliméricas do amido. Observaram também que com a diminuição do conteúdo de umidade do material, havia aumento na expansão, na SE, no ISA e no grau de gelatinização, enquanto que o IAA e a VP decresciam.

Em experiência semelhante à anterior, GOMEZ & AGUILERA (1983) observaram que com a diminuição do conteúdo de umidade do material, o valor baseado na afinidade do iodo com carboidratos de cadeia reta, aumentava. Com o decréscimo da umidade, houve decréscimo dos carboidratos insolúveis em água, resultando numa correlação negativa de $r = -0,979$ da umidade com o ISA, sugerindo que a quebra da fração dos carboidratos insolúveis em água, é a maior fonte de materiais solúveis.

OWUSU-ANSAH et alii (1983) observaram a máxima gelatinização (dada pela absorbância do complexo amilose-iodo) à menor temperatura (100°C) e na umidade de 23%, ao passo que obtiveram o mínimo valor de gelatinização à mesma temperatura e a 11% de umidade. Quando a velocidade da rosca era diminuída, não era possível observar o ponto mínimo, pois este ocorria no ponto de alta umidade e temperatura. Este resultado se apresentou incomum pois o esperado era que a gelatinização aumentasse com altos níveis de temperatura e umidade.

LAWTON et alii (1972) observaram um resultado semelhante e o atribuiu ao efeito lubrificante causado pelo excesso de água. Dependendo das condições de extrusão, 21-46% do amido de trigo foi excluído pela filtração em gel, comparado com 58% do material não extrusado. Isto sugere uma significativa degradação dos polímeros do amido durante a extrusão, sustentando-se nos resultados da viscosidade intrínseca de 1,06-1,79 e 2,20 dl/g respectivamente (DAVIDSON et alii, 1984).

BHATTACHARYA & HANNA (1987) observaram que a gelatinização diminuía com o aumento da umidade, porém aumentava com o aumento da temperatura.

Em experiência de arroz com leguminosas, CHAUHAN & BAINS (1988) observaram que com o aumento da temperatura de saída do extrusor, a

taxa de expansão, o ISA e o IAA aumentavam.

Durante a extrusão de amido de batata em extrusor de duplo parafuso, observou-se a hidrólise das ligações α -1,4 glicosídicas em carboidratos de peso molecular menor. O máximo rendimento na formação de oligossacarídeos foi obtida à temperatura de 190°C (MERCIER, 1977). Quando a temperatura de extrusão atingia 135°C , nenhum grânulo de amido ficou intacto (MERCIER (1980) apud BJÖRCK & ASP, 1983).

Na extrusão de amidos de trigo sarraceno, cevada e milho à temperatura de 125°C e com 20-22% de umidade, FORMAL et alii (1987) observaram aumento de solubilidade só nos amidos de trigo sarraceno e cevada, e aumento no grau de gelatinização só nos amidos de cevada e milho. O grau de gelatinização no amido nativo de trigo sarraceno foi maior que o extrusado.

2. Proteínas

A maneira como as proteínas se apresentam, sejam com formatos globulares ou fibrilares, dependem unicamente da porcentagem de amino-ácidos hidrofóbicos. O objetivo do extrusor nestes casos é o de mudar a estrutura enrolada das moléculas de proteínas, de modo que através do cisalhamento, as estruturas se desenrolem e estiquem ao longo de outras. Neste desenrolar há quebra de ligações; incluindo as hidrofóbicas e formação de novas ligações. Desta maneira fios são formados e dispostos laminarmente, sendo responsáveis pela consistência do produto e este processo é chamado de texturização (VAN ZUILICHEM & STOLP, 1986).

Materiais proteináceos solúveis sob condições de alta temperatura, pressão e cisalhamento, são transformados em fluidos plásticos dentro do extrusor e em fibras insolúveis após a extrusão (OTUN et alii, 1986).

CUMMING et alii (1973) apud OTUN et alii (1986) estudaram a texturização em proteínas de soja com variações de temperatura, mantendo as outras variáveis constantes. Eles concluíram que o calor causava na maior parte das proteínas solúveis em água, a quebra em sub-unidades e/ou as tornavam insolúveis.

JEUNINK & CHEFTEL (1979) observaram que na extrusão de proteína concentrada de feijão branco havia um decréscimo na solubilidade, provavelmente devido à interação não covalente entre cadeias polipeptídicas ou entre polipeptídeos e outros constituintes, ou pela formação de ligações dissulfídricas (formação de cistina a partir da cisteína). Observaram também um pequeno incremento na quantidade de lisina não disponível, devido provavelmente à formação de ligações cruzadas de isopeptídeos. AGUILERA et alii (1976) observaram através do microscópio eletrônico as mudanças estruturais ocorridas durante a extrusão termoplástica em "grits" de soja.

BURGESS & STANLEY (1976) apud BJÖRCK & ASP (1983), descreveram a texturização de farinha de soja como a ruptura de ligações protéicas e a reagregação das mesmas por ligações peptídicas intermoleculares. Também foram sugeridas as interações hidrofóbicas e as pontes de hidrogênio e sulfídricas.

TARANTO et alii (1975) apud LINKO et alii (1981) observaram que na texturização de soja e algodão as proteínas eram esticadas pela força de cisalhamento e laminadas longitudinalmente quando passavam através da matriz.

Na texturização de proteínas de origem vegetal há um desdobramento e reações de agregação, para promover a formação de estruturas fibrosas, insolúveis e expandidas que rapidamente são reidratadas para formar um produto elástico e mastigável (CHEFTEL, 1986).

MUSTAKAS et alii (1964) constataram o decréscimo na solubilidade das proteínas com o aumento da temperatura de extrusão no processamento de farinha de soja integral. MUSTAKAS et alii (1970) constataram mais tarde o mesmo decréscimo na solubilidade das proteínas com o aumento da temperatura, aumento do tempo de residência no extrusor e diminuição do conteúdo de umidade da matéria prima.

2.1.2. Valor Nutricional

1. Amido

O amido é geralmente considerado nutricionalmente superior que outros carboidratos, por duas razões: primeiramente, por que os alimentos que o contém são fontes de vitaminas e minerais e segundo, porque o amido é hidrolisado e absorvido mais lentamente que os carboidratos de baixo peso molecular, produzindo assim menor taxa de glucose no sangue e desta maneira menor uso de insulina. Os carboidratos chamados lentos, dão uma sensação prolongada de saciedade após as refeições e baixos níveis de insulina constituem a prevenção de obesidade (HEATON (1980) apud ASP & BJÖRCK, 1989) .

A cocção e a gelatinização do amido aumenta a suscetibilidade às enzimas amilolíticas, além de inativar os inibidores destas enzimas (O'DEA et alii (1980) apud BJÖRCK et alii, 1984).

BJÖRCK et alii (1984) observaram que na extrusão de farinha de trigo em condições brandas e severas ($161-171^{\circ}C$, % H_2O = 15 ou 20, RPM = 100-200), a disponibilidade *in vitro* de amido à α -amilase era semelhante à amostra autoclavada ($125^{\circ}C$, 20 min.) e maior que a fervida a pressão ambiente por 20 minutos.

A extrusão provavelmente aumentou a disponibilidade enzimática do amido via gelatinização, pela inativação do inibidor endôgeno de α -amilase, quebra da estrutura celular e aumento da superfície do amido. A digestibilidade *in vitro* do amido extrusado depende principalmente da textura do produto (MERCIER (1980) apud LINKO et alii, 1981).

MERCIER & FEILLET (1975), observaram a digestibilidade *in vitro* com parâmetros de α -amilólise, em farinhas de cereais integrais e brancas a $135^{\circ}C$. Observaram que o valor de F (fração do amido de fácil degradação) era 0-20% quando a farinha era integral e aumentava para 80% quando era branca. À temperatura de $225^{\circ}C$ não se observa este comportamento, provavelmente devido a que a expansão é máxima e uma fácil dispersibilidade

da amostra é conseguida.

ASP & BJÖRCK (1982) demonstraram com testes *in vivo* que os níveis de glucose e insulina no plasma sanguíneo de ratos era maior em condições severas de extrusão (171°C, H₂O=15%, 200rpm) do que quando o material era fervido à pressão atmosférica. O significativo efeito de solubilização em amido de cereais pela extrusão, é importante para uma alta e total digestibilidade do mesmo (GUILBOT & MERCIER 1974 apud LINKO et alii, 1981). Porém, ASP & BJÖRCK (1989) observaram que com o aumento da solubilidade e a diminuição da viscosidade pela extrusão, não obtinham uma alta disponibilidade de amido pela α -amilase e uma rápida absorção *in vivo*.

BJÖRCK et alii (1980) apud LINKO et alii (1981) mostraram que a excreção de nitrogênio nas fezes de ratos era maior quando o amido era extrusado do que quando não era, indicando uma indigestibilidade parcial do amido.

A formação de complexos de amilose e ácidos graxos durante o processo de extrusão, foi observada no espectro de raios X (MERCIER (1980) apud BJÖRCK & ASP, 1983). O complexo formado entre amilose de batata e liolecitina de gema de ovo, produziu em ratos uma baixa resposta glicêmica em relação à amilose livre. Isto indica uma baixa digestibilidade, que está em concordância com a baixa suscetibilidade a α -amilase *in vitro* (HOLM et alii, 1983 apud ASP & BJÖRCK, 1989).

SCHWEIZER et alii (1986) mostraram a relação entre o aumento do grau de complexação de amilose; medido pela capacidade de ligar moléculas de I₂, e a diminuição na hidrólise de farinha de trigo extrusado, com α -amilase pancreática.

A hidrólise de sacarose durante a extrusão foi reportada por varios autores (CHIANG & JOHNSON, 1977; NOGUCHI et alii, 1982).

MERCIER & FEILLET (1975) observaram por cromatografia de camada delgada que quando se aumentava a temperatura de extrusão, havia um decréscimo dos carboidratos solúveis em etanol (frutose, glucose, sacarose e rafinose). Também, ANDERSSON et alii (1981) apud BJÖRCK & ASP (1983) observaram no processo de extrusão, o decréscimo em sacarose, fru-

tose e glucose. A perda ou diminuição de açúcares redutores durante a extrusão, provavelmente associada com a reação de Maillard, conduz ao decréscimo na disponibilidade biológica de lisina.

A reação de Maillard em alimentos reduz a digestibilidade e o seu valor nutricional (CLARK & TANNENBAUM (1974) apud LINKO et alii, 1981).

2. Proteínas

O valor nutricional das proteínas depende da sua digestibilidade e da disponibilidade de aminoácidos essenciais (FAO/WHO, 1985).

O valor nutricional em proteínas de origem vegetal é geralmente aumentado quando o processo de extrusão é moderado, devido ao aumento na digestibilidade (HARMUTH-HOENE & SEILER (1984) apud ASP & BJÖRCK, 1989). Este resultado deve-se provavelmente à inativação dos inibidores proteolíticos presentes e não à desnaturação protéica (LASER-REUTERS-WÄRD et alii (1982, 1985) apud ASP & BJÖRCK, 1989).

Em condições severas de extrusão, a digestibilidade e a disponibilidade de aminoácidos devem ser reduzidas. Um dos mecanismos responsáveis por esta redução é a reação de Maillard, que conduz ao decréscimo da disponibilidade de lisina (BEAUFRAND et alii, 1986). A lisina serve como indicador do dano que a proteína sofre durante o processamento. Em cereais, a lisina é limitante, e a sua perda deve imediatamente resultar no decréscimo do valor nutricional da proteína (ASP & BJÖRCK, 1989).

Varios autores observaram que com o aumento no conteúdo de umidade do material a ser extrusado, havia uma significativa melhora na retenção de lisina (BEAUFRAND et alii, 1978; NOGUCHI et alii, 1982). Porém, PHAM & DEL ROSARIO (1984b) apud ASP & BJÖRCK (1989) observaram que na extrusão de grão de bico e feijão, a disponibilidade de lisina decrescia com o aumento do conteúdo de umidade (30-45% H₂O).

O ponto mais crucial em relação ao conteúdo de umidade e ao valor nutricional da proteína é a reação de Maillard. De acordo a NOGUCHI et alii (1982), a retenção de lisina em altos conteúdos de umidade deve ser

explicada pela lei de ação de massa, porque água é produzida na fase de condensação da reação de Maillard.

BJÖRCK et alii (1984a) observaram uma perda em lisina de 0-37% dependendo das condições do processo. Nenhuma perda significativa foi observada em outros aminoácidos. A maior perda de lisina (37%) ocorreu à maior temperatura (171 °C). Sob as mesmas condições de extrusão, a perda de lisina aumentou de 25 para 37%, quando a velocidade do parafuso aumentou de 150 para 200 rpm. Em contraste, nenhuma perda de lisina foi observada sob as mesmas condições, quando a taxa de alimentação era aumentada.

Em relação à velocidade do parafuso, NOGUCHI et alii (1982) constataram que na extrusão da mistura de farinha de trigo-proteína de soja-caseinato-sacarose não havia diferença significativa na perda de lisina quando a rotação do parafuso passava de 40 para 80 rpm. Provavelmente devido a que as velocidades ainda eram baixas.

Em condições severas de temperatura ($T \geq 180^{\circ}C$), velocidades de parafuso altas ($RPM > 100$), em baixas umidades ($H_2O \leq 15\%$) e especialmente na presença de açúcares redutores, grande quantidade de lisina é danificada com conseqüente diminuição do valor nutricional, na extrusão de cereais ou misturas de cereais e leguminosas (CHEFTEL, 1986).

HARMUTH-HOENE & SEILER (1984) reportaram que na extrusão de misturas contendo amido, com valores baixos de dextrose equivalente ($DE \leq 1$), não foram observadas perdas nutricionais, à $T = 125-165^{\circ}C$, $H_2O = 12-18\%$ e $RPM = 80-150$ devido à reação de Maillard.

Quando a temperatura é aumentada de $161^{\circ}C$ para $171^{\circ}C$ observa-se um decréscimo de 3% na Digestibilidade Verdadeira (DV), 26% no Valor Biológico (VB) e 29% na Proteína Líquida Utilizada (NPU), na extrusão de farinha de trigo (BJÖRCK et alii, 1984a).

Ao se aumentar a temperatura de extrusão acima de $225^{\circ}C$ com um conteúdo de umidade de 14%, em semolina de trigo e farinha de milho, havia um incremento na proteólise de pepsina *in vivo*. Quando o conteúdo de umidade era alto, a proteólise de pepsina diminuía (CAMUS, 1980 apud LINKO et

alii,1981).

MUSTAKAS et alii (1970) obtiveram um valor de PER de 2,15 com 89% de inativação do inibidor de tripsina a 135°C, 20% de umidade e 2 min. de residência, na extrusão de farinha de soja integral. Quando a inativação do inibidor de tripsina subia para 98%, o valor de PER caía para 1,98. Na produção da mesma farinha de soja integral, MUSTAKAS et alii (1964) obtiveram uma destruição de 95% do inibidor de tripsina e valores próximos de zero da atividade ureática, quando a temperatura de extrusão variava em torno de 121°C.

Porém ao se aumentar o conteúdo de água da mistura milho-soja, o valor do inibidor de tripsina diminuía e o peso ganho dos ratos aumentava, aumentando assim o valor de PER (BRESSANI et alii,1978).

LORENZ et alii (1980) observaram que o valor de PER aumentava de 1,01 para 1,94 , quando a farinha de soja integral crua era extrusada até 143°C. Nesta temperatura a porcentagem do inibidor de tripsina caía para 43,3% e a atividade ureática era de 0,02 unidades. Observaram também que à temperatura de 139 °C a porcentagem do inibidor de tripsina destruído era de 30,6% e aumentando o conteúdo de água em 3%, a destruição do inibidor de tripsina aumentava para 53,7%.

Para os valores de PER da mistura de milho integral e soja descascada (70:30) extrusadas separadamente à temperatura de 172°C era $2,31 \pm 0,05$ e extrusada em conjunto à mesma temperatura era $2,53 \pm 0,06$. Observaram também que após a extrusão de soja descascada a 139°C, o valor de PER aumentou de $1,49 \pm 0,06$ para $1,98 \pm 0,06$ e a redução do inibidor de tripsina foi de 52% (JANSEN et alii,1978).

Os mesmos, JANSEN et alii (1978) reportaram que na extrusão de uma mistura de milho e semente de algodão descascada, à temperatura de 170°C, obtiveram um valor de PER de $1,52 \pm 0,09$ e quando extrusado a 142°C um valor de $1,90 \pm 0,04$. Isto provavelmente devido à redução da lisina disponível, causada pela reação de gossipol com os grupos amina da lisina durante a extrusão.

Na extrusão de arroz com leguminosas (soja, bengala e preta) à tempe-

ratura de saída de $(95 \pm 2)^\circ C$, obtiveram um resíduo de 13,7% do inibidor de tripsina na mistura com soja, e total destruição nas outras misturas. A perda de lisina nas três misturas teve uma média de 6,3%. Obtiveram também valores de PER de 2,54 para a mistura com soja, 2,33 para a bengala e de 2,28 para a preta (CHAUHAN et alii,1988).

Na extrusão da farinha de arroz a $150^\circ C$ e 15% de umidade, EGGUM et alii (1986) reportaram que houve uma perda de lisina de 12%, um decréscimo da digestibilidade verdadeira, do valor biológico e da proteína utilizada de 3,0%, 4,5% e 7,5% respectivamente.

HARMUTH-HOENE et alii (1986) reportaram que na extrusão de trigo e centeio à temperatura de $165^\circ C$ e umidade de 12 e 18%, houve aumento na digestibilidade do centeio e diminuição na do trigo, em relação à matéria prima em ambas umidades.

2.2. O Macarrão Convencional

2.2.1. Aspectos Gerais

A semolina é a principal matéria prima usada na manufatura de macarrão de alta qualidade. Esta deve provir unicamente da moagem de trigos duros (HUMMEL, 1966). O trigo Durum do gênero *Triticum* é uma monocotiledônea da família das Gramineae, da tribo Triticeae e da sub-tribu Triticinae (BOZZINI, 1988).

O trigo Durum é uma boa fonte de proteínas, sendo o seu conteúdo médio maior que o de outros trigos, e varia de 9-18%. A sua composição protéica varia grandemente em quantidade e qualidade, dependendo da variedade ao qual pertence e a fatores ambientais. As suas proteínas são as responsáveis pela qualidade do macarrão durante a cocção. Um alto conteúdo de proteínas e a formação de um gluten forte são os requisitos essenciais para se produzir um macarrão de boa qualidade (FEILLET, 1988).

Muitos fatores podem influenciar na qualidade do macarrão, tais como as condições do processo, o tempo de fabricação, transporte e armazenamento, porém o fator mais importante e determinante na qualidade do mesmo, é a variedade do trigo (WALSH & GILLES, 1971).

Na tabela 1 é apresentada a porcentagem de proteína do trigo Durum e de outros cereais.

Tabela 1: Conteúdo de Proteína do trigo Durum e outros cereais

Cereal	Trigo Durum	Cevada	Milho	Arroz Integral	Sorgo	Triticale
*Proteína(%)	13	9	10	8	10	14

Fonte: SIMMOND (1978) apud FEILLET (1988)

* Valores em base seca

O processo de produção de massas alimentícias, consiste basicamente na mistura, amassamento e extrusão de uma dispersão de água e farinha (CIACCO & CHANG, 1982), onde uma das condições para se produzir uma boa massa, é que

a semolina e a água devem ser misturadas em proporções corretas.(HUMMEL, 1966). Na realidade, a proporção de água depende da variedade do trigo, da qualidade do gluten, do teor de proteínas, da umidade inicial da semolina e da granulometria da mesma (CIACCO & CHANG, 1982).

É necessário que após a dosagem, a semolina e a água permaneçam por um tempo suficientemente longo dentro de um misturador, para que a água seja completamente absorvida (HUMMEL, 1966).

Após a mistura, a massa entra num extrusor de rosca sem fim sob vácuo. A finalidade do vácuo é a retirada das bolhas de ar que por ventura se achem ocluídas na massa. Este mesmo extrusor empurra a massa através de uma trefila ou molde com uma pequena pressão, para dar a formatação final ao macarrão, spaghetti ou qualquer tipo de massa alimentícia. Quando o produto sai pela trefila, ele é seco superficialmente com ar quente, e logo é cortado a seu tamanho final. Após a operação de corte, o produto entra num secador contínuo com um conteúdo de água de cerca de 30% e após 15 a 36 horas deve sair com uma umidade de 12,5-13,0% (IRVINE, 1978). Atualmente com o uso de uma temperatura mais elevada (65-80°C) o tempo de secagem foi reduzido para 8-14 horas (BARONI, 1988).

HOLLIGER (1963) apud MATSUO & IRVINE (1970) investigou a influência da quantidade de gluten, na qualidade de cozimento de spaghetti. À medida que adicionava gluten ao amido ou ao trigo mole, a qualidade de resíduo na água de cozimento diminuía, e aumentava a força requerida para estender o spaghetti cozido. MATWEEF (1966) apud MATSUO & IRVINE (1970), reportou que um gluten com 16% de proteínas produzia um macarrão com melhores propriedades de cozimento do que outro com 11%.

Diferenças de qualidade entre amostras de semolina de diferentes variedades de trigo Durum, é devido à capacidade das suas proteínas de formar durante a fabricação do macarrão, uma rede capaz de reter os outros componentes da semolina, especialmente os grânulos de amido (RESMINI & PAGANI,1983 e FEILLET,1986 apud CUBADDA,1988).

SHEU et alii (1967) estudaram o efeito do intercâmbio de vários componentes dos trigos Durum e vermelho duro de primavera, na qualidade do macarrão, e concluíram que as diferenças nos resultados do teste de cozimento devem-se

principalmente às frações do gluten.

Ao se enriquecer semolina com proteínas de colza, soja, peixe e albumina de ovo, além de frações de gluten, MATSUO et alii (1972) observaram que nutricionalmente é vantajoso, mas que só a albumina de ovo e o próprio gluten melhoram as características de cozimento do spaghetti.

BAHNASSEY & KHAN (1986) prepararam spaghetti de trigo Durum com mistura de gluten vital e fortificado com farinha de leguminosas, aos níveis de 0 a 25%. Eles observaram que a absorção de água aumentava à medida que aumentava o nível de substituição, a exceção de um, ao nível de 25%. Observaram também que a perda de sólidos solúveis aumentava com o aumento da fortificação.

Ao se adicionar 12,5 , 17 e 25% de farinha de soja na semolina para fabricação de macarrão, PAULSEN (1961) obteve maior absorção de água com spaghetti de semolina do que com 17% de farinha de soja, e maior quantidade de sólidos solúveis na água de cozimento com 12,5 e 17% de soja do que com 100% de semolina.

Ao se adicionarem farinha de ervilha e proteína concentrada de ervilha na semolina de trigo duro de primavera, até alcançar níveis de 25% de proteína, NIELSEN et alii (1980) observaram que a maior absorção de água era obtida com o macarrão com 100% de semolina de trigo duro, e que à medida que aumentava o nível de proteína, aumentava também a perda de sólidos durante o cozimento.

MORAD et alii (1980) produziram macarrão de trigo Durum suplementado com 2, 4 e 6% de farinha de tremço e de soja desengordurada. Eles observaram que os melhores incrementos em peso e em volume eram dados com 2 e 4% de farinha de soja desengordurada e 6% de farinha de tremço. BREEN et alii (1977) suplementaram a semolina de trigo Durum para elaboração de massas alimentícias, com proteínas de varias fontes, aos níveis de 15, 17,5 e 20% e observaram que o spaghetti elaborado com proteína isolada de milho e farinha concentrada e desengordurada de peixe, dava a maior absorção de água. Em todas as amostras, a exceção das adicionadas de albumina e de gluten vital, tiveram uma perda de sólidos solúveis maior que o controle.

JEFFERS et alii (1979) produziram macarrão de trigo fraco, tipo japonês (Udon) e o fortaleceram com farinhas de leguminosas, aos níveis de 5, 10 e 20% . Eles observaram que em termos de aumento de peso, só a farinha de soja desengordurada ao nível de 5% e a farinha de ervilha crua ao nível de 10%, eram maiores que o controle. A única melhora em textura, era dada com a farinha de ervilha crua ao nível de 10%. Em termos de pontuação geral, o controle sempre foi melhor.

Ao se misturar proteínas de soja à semolina de trigo Durum para a produção de spaghetti, LAIGNELET et alii (1976) observaram que o índice de expansão do controle era melhor que as enriquecidas, a firmeza era melhorada com a adição de proteínas de soja e a perda de sólidos solúveis era melhorada só com isolado protéico de soja (Promine D) ao nível de 21,7%. Todos os outros ficaram abaixo do controle.

De acordo com MANSER (1981) apud DEXTER et alii (1983) os fatores que devem ser considerados na qualidade de cozimento do spaghetti são: firmeza, elasticidade, gomosidade superficial, tempo de cozimento, absorção de água, aumento de volume ou grau de intumescimento e perda de sólidos solúveis. DEXTER et alii (1983), observaram que quando a temperatura de secagem do spaghetti era alta (70°C), este apresentava menor gomosidade, maior firmeza e menor perda de sólidos solúveis durante o cozimento, do que aquele seco a 39°C. Observaram também o efeito do conteúdo de proteína no melhoramento da firmeza do spaghetti após cozimento.

D' EGIDIO et alii (1979) apud FORTINI (1988) obtiveram uma significativa e positiva correlação entre o conteúdo de proteínas da semolina e a qualidade de cozimento de macarrão, em unicamente duas colheitas. Com um grupo de 16 amostras de semolina de boa e má qualidade, contendo de 12,17 a 12,37% de proteínas, D' EGIDIO et alii (1986) apud FORTINI (1988) obtiveram índices de qualidade de cozimento de macarrão entre 4,0 e 7,8. Eles concluíram que as diferenças na qualidade de cozimento eram resultantes das diferenças existentes na composição das proteínas.

O valor nutricional das massas alimentícias depende da matéria prima com que é fabricada, e a retenção de seus nutrientes depende principalmente das condições empregadas durante a secagem (ASP & BJÖRCK, 1989). Para melhorar a eficiência de produção de massas alimentícias, pode-se aumentar a temperatura

de secagem para aproximadamente 90°C, porém a elevadas temperaturas, perdas significativas no valor nutricional das proteínas podem ocorrer (CUBADDA et alii (1970, 1971) apud ASP & BJÖRCK, 1989) além de níveis de degradação de tiamina e riboflavina (CUBADDA, 1986).

Massas alimentícias elaboradas unicamente com trigo, tornam-se um alimento desbalanceado nutricionalmente. Elas possuem um baixo conteúdo de gorduras e as suas proteínas possuem um baixo valor biológico devido à deficiência em lisina. Cabe lembrar que as massas alimentícias assim como outros cereais e derivados são consumidos combinados com outros alimentos, e desta maneira capazes de aumentar o seu teor protéico (ANTOGNELLI, 1980).

Devido ao baixo conteúdo de nutrientes das massas alimentícias, muitas pesquisas são realizadas para aumentar o seu conteúdo de proteínas, pela adição de ingredientes que as contenham em grande quantidade (DOUGLASS & MATTHEWS, 1982). Para se obter sucesso no fortalecimento nutricional das massas alimentícias, é necessário que se atinja o mesmo nível organoléptico de qualidade que as massas convencionais (LAIGNELET et alii, 1976).

O valor nutricional das massas alimentícias aparece como totalmente independente ao uso de semolina de trigo Durum ou de trigos moles, pois a sua composição depende dos ingredientes adicionados à massa. As massas alimentícias podem ser enriquecidas com ingredientes tradicionais como ovos, espinafre ou mesmo carne como é o caso do ravioli, ou com ingredientes não tradicionais como soja ou proteínas de leguminosas (MARIANI-CONSTANTINI, 1988).

Na tabela 2 é apresentada a composição de massas alimentícias enriquecidas com proteína concentrada de feijão fava.

MOLINA et alii (1975) produziram massas alimentícias de trigo - milho (40:60) com e sem adição de 0,3% de L-lisina e trigo - milho - soja (32:60:8), e as compararam com a massa comercial local. Eles obtiveram valores de PER de 0,65 (massa comercial), 0,66 (trigo-milho sem lisina), 1,17 (trigo-milho-soja) e 1,71 (trigo-milho com lisina). Eles observaram que 25-50% da lisina adicionada era perdida na água de cozimento.

Tabela 2: Composição de massa convencional e enriquecida com 10% de proteína concentrada de feijão fava

	Convencional	Enriquecida	FAO*
Umidade(%)	12,4	11,3	
Proteína(%) (N x 5,70)	10,8	14,8	
Aminoácidos essenciais (g/16gN)			
Lisina	2,09	3,52	5,44
Treonina	2,17	3,04	4,00
Metionina + Cistina	4,01	3,27	3,52
Valina	4,33	4,56	4,96
Isoleucina	3,69	4,00	4,00
Leucina	7,07	7,15	7,04
Fenilalanina + Tirosina	7,45	7,52	6,08
Triptofano	0,98	0,96	0,96

Fonte: MARIANI-CONSTANTINI, 1988

* FAO/WHO, 1985

Na Tabela 3 é apresentada a composição de aminoácidos do macarrão simples e com queijo.

Tabela 3: Composição de aminoácidos de macarrão simples e com adição de queijo, em relação à FAO em g/16gN

Aminoácidos	Macarrão Simples	Macarrão com Queijo	FAO*
Isoleucina	4,00	4,38	4,00
Leucina	7,18	8,15	7,04
Lisina	2,57	4,29	5,44
Metionina + Cistina	3,74	3,69	3,52
Fenilalanina + Tirosina	7,35	8,15	6,08
Treonina	3,10	3,18	4,00
Triptofano	1,45	1,37	0,96
Valina	4,90	5,58	4,96

Fonte: ANTOGNELLI, 1980

* FAO/WHO, 1985

Na Tabela 4 pode-se observar o conteúdo de nutrientes de diferentes massas alimentícias com seus respectivos molhos ou formas de serem consumidos.

Além do enriquecimento das massas alimentícias com seus molhos e temperos, e com a adição de materiais protéicos à farinha de trigo com consequentes

modificações das propriedades de cozimento; existe também o enriquecimento da farinha de trigo pela inativação dos fatores antinutricionais presentes nas leguminosas que contribuem como fonte de proteínas.

A esse respeito, BAHNASSEY et alii (1986) reportaram que enriquecendo o spaghetti de trigo Durum com leguminosas aos níveis de 10 e 15%, observaram que a atividade do inibidor de tripsina diminuía com a tostagem e ainda mais com o processo de concentração de proteínas e a seguir de tostagem. A mesma observação tiveram com a atividade de hemaglutinina, porém com níveis de atividade bem menores, por serem estes fatores mais termolábeis que os anteriores.

Tabela 4: Conteúdo de nutrientes de massas alimentícias e seus molhos

	Spaghetti com molho de tomate	Macarrão com queijo	Ravioli de carne	Lasanha	Macarrão enriquecido
Proteína(g/100)	10,26	21,60	20,40	22,20	22,80
Gordura(g/100g)	1,2	2,4	2,4	4,0	0,5
Carboidratos(g/100g)	14,3	14,0	14,4	12,9	23,3
Cinzas(g/100g)	1,5	1,7	1,8	1,9	0,2
Vitaminas					
Ácido Ascórbico(mg/100g)	3,0	traços	traços	traços	-
Tiamina(mg/100g)	0,06	0,09	0,05	0,05	0,17
Riboflavina(mg/100g)	0,05	0,11	0,10	0,09	0,10
Niacina(mg/100g)	0,69	1,23	1,27	1,28	1,55
Vitamina A(UI/100g)	184	138	237	236	-

Fonte: DOUGLAS & MATTHEWS (1982)

2.3. Macarrão com matérias primas e processo não convencionais

A semolina do trigo Durum é o ingrediente predominante na produção de massas alimentícias, porém outros cereais e leguminosas são utilizados com bons resultados (ASP & BJÖRCK, 1989).

Devido ao alto custo e a baixa disponibilidade do trigo Durum em relação a outros cereais, há um maior interesse por parte de muitos países, no uso de materiais alternativos para a produção de massas alimentícias. Por esses motivos, PAGANI et alii (1981), realizaram experimentos com farinhas de cereais e amidos e enriquecidos com proteínas de leguminosas e, leite e soro de leite em

pó. Eles aplicaram métodos tradicionais e métodos onde 5-7% da farinha era pregelatinizada. Eles obtiveram massas alimentícias com boas características de cozimento e nutricionais.

LII & CHANG (1981), usaram 95% de amido de feijão vermelho e 5% do mesmo gelatinizado, para a produção de "noodles". Eles observaram que a afinidade do amido ao Iodo era baixa, e por esse motivo obtiveram altos valores de perda de sólidos solúveis e baixa resistência à tensão. Embora a perda de sólidos solúveis tenha sido alta (6%), ainda está abaixo do nível aceitável pelo Padrão Nacional Chinês.

Nas figuras 1 e 2 pode-se observar a produção de amiláceos e os preços relativos de algumas farinhas no mercado internacional.

KWEE et alii (1969) produziram macarrão de arroz, milho, mandioca e trigo, e o enriqueceram com soja e concentrado protéico de peixe. Eles acharam que o que possuía 50% de farinha de arroz e 20% de semolina era o melhor, do ponto de vista sensorial, porém a perda de sólidos solúveis e a absorção de água foi média em relação aos outros.

TSAO et alii (1976) reportaram a produção de spaghetti de arroz a 74-113°C, 20-35% de umidade e 30-125rpm por extrusão termoplástica. Eles observaram que com 10 minutos de cozimento o spaghetti de arroz apresentava uma textura e aumento de peso melhor que o convencional, a exceção da perda de sólidos solúveis durante o cozimento. A vantagem do spaghetti de arroz sob o convencional é que demora um tempo 3 vezes menor para atingir o cozimento, porém não resiste ao sobrecozimento. EL-DASH (1990) reportou a produção de macarrão de farinha de arroz com propriedades similares às produzidas com farinhas que contenham gluten.

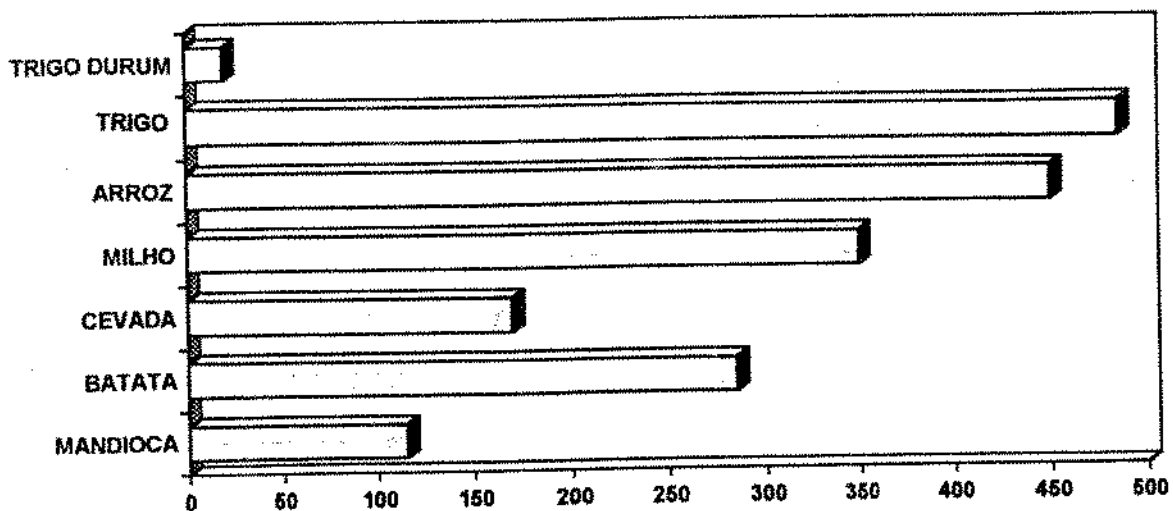


Figura 1: Produção mundial de amiláceos em 10⁶ TON (PAGANI, 1986)

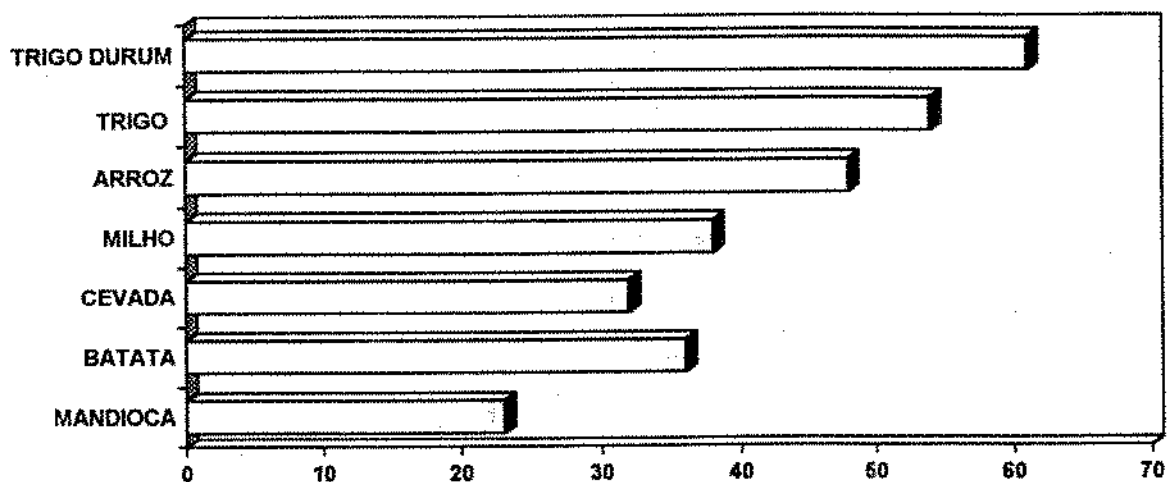


Figura 2: Preço relativo de algumas farinhas no mercado internacional (PAGANI, 1986)

2.4. Valor Nutricional do Arroz

O arroz é a principal fonte de proteína e calorias na Ásia. Ele fornece em torno de 80% do total de calorias.

As proteínas do arroz, em se comparando com outros cereais, possuem um dos melhores valores e qualidades nutricionais (JULIANO, 1972). É o único cereal que possui no mínimo 80% de glutelina e menos de 15% de prolamina. As outras frações, como albumina (5%) e globulina (10%) estão concentradas na camada de aleurona e no germe (CAGAMPANG et alii, 1966). Os mesmos autores mostraram que, as diferenças no conteúdo de proteínas em arroz da mesma variedade eram devidos principalmente ao conteúdo de glutelina e prolamina.

A distribuição de proteínas no endosperma de amostras com alto conteúdo é mais uniforme do que aquelas com baixo conteúdo de proteínas. As amostras com altos conteúdos de proteínas tendem a possuir menores níveis de alguns aminoácidos essenciais, particularmente lisina, que de algumas variedades com baixos teores (JULIANO, 1972). Este fato é devido principalmente, à alta proporção de prolamina na proteína. A prolamina possui o mais baixo conteúdo de lisina (< 1%) entre as frações (PALMIANO et alii (1968) apud JULIANO, 1972).

A lisina é o primeiro aminoácido limitante do arroz e dos outros cereais.

BRESSANI et alii (1971) estudaram varias amostras de arroz moído com 5,7 , 7,3 , 9,7 e 14,3% de proteína e observaram, pela análise com ratos, que a qualidade nutricional tende a diminuir com o aumento da porcentagem de proteína (Tabela 5).

Tabela 5: Qualidade Nutricional de amostras de arroz moído

Amostra	Proteína (%)	PER	NPR	Qualidade Relativa
Intam	5,68	2,56	3,71	80
IR8	7,32	2,20	3,36	75
IR8	9,73	1,94	3,07	71
BPI-76-1	14,3	1,50	2,57	57
Caseína	86,2	2,20	3,36	75

Fonte: BRESSANI et alii (1971)

PER - Coeficiente de eficiência protéica, em dieta de 5% de proteína.

NPR - Coeficiente líquido de proteína, em dieta de 5% de proteína.

O conteúdo de proteínas da farinha é menor, em se comparando com outros cereais, porém o grão integral possui quase a mesma quantidade do que a farinha de trigo. Se compara favoravelmente com outros cereais no seu conteúdo de aminoácidos e digestibilidade da sua proteína, sendo de 96,5% para o grão integral e 98,0% para a farinha (GRIST, 1965).

O polimento do arroz, resulta numa perda considerável de nutrientes. O grau de polimento determina a quantidade de nutrientes que foram removidos. Grande quantidade de proteínas, gorduras, vitaminas e minerais estão presentes nas camadas externas do grão, e no germe. A remoção de camadas protetoras do pericarpo, durante o polimento, facilita ainda mais a extração das substâncias solúveis da camada de aleurona, antes do cozimento do grão (GRIST, 1965).

As vitaminas lipossolúveis A e D se encontram em quantidades desprezíveis, porém o conteúdo de vitaminas E é considerável. As vitaminas de maior concentração são as do complexo B, principalmente a tiamina (B_1), riboflavina e niacina, na ordem de 4,0 , 0,6 e 50,0 μ g/g respectivamente. O arroz também é uma boa fonte de ácido pantotênico e piridoxina (GRIST, 1965).

Para se comparar a composição do arroz com outras cereais pode-se ver na tabela 6.

Tabela 6: Composição Média dos Cereais

	Arroz	Trigo	Milho	Sorgo	Cevada	Aveia	Centeio
Proteína(%)	7,5	12,3	8,9	11,0	8,2	14,2	12,1
Gordura(%)	1,9	1,8	3,9	3,3	1,0	7,4	1,7
Fibras(%)	0,9	2,3	2,0	1,7	0,5	1,2	2,0
Cinzas(%)	1,2	1,7	1,2	1,7	0,9	1,9	1,8
Tiamina(mg/100g)	0,34	0,52	0,37	0,38	0,12	0,60	0,43
Riboflavina(mg/100g)	0,05	0,12	0,12	0,15	0,05	0,14	0,22
Niacina(mg/100g)	4,7	4,3	2,2	3,9	3,1	1,0	1,6
Calorias/100g	360	330	348	332	349	390	334

Fonte: ADAIR (1972)

Pelo exposto por PALMIANO et alii (1968) apud JULIANO (1972), apresentamos na tabela 7, a porcentagem das frações protéicas do arroz e de outros cereais.

Tabela 7: Frações Protéicas dos Cereais.

Frações Protéicas	Arroz	Trigo	Milho	Sorgo	Cevada	Aveia	Centeio
Albumina(%)	5,0	5,0	4,0	7,0	15,0	1,0	7,0
Globulina(%)	10,0	10,0	2,0	9,0	13,0	78,0	7,5
Glutelina(%)	80,0	16,0	38,0	35,0	24,0	5,0	40,5
Prolamina(%)	5,0	69,0	56,0	49,0	48,0	16,0	45,0

Fonte: SHUKLA (1975)

Como pode-se observar na tabela 7, o arroz é o que menor porcentagem de prolamina possui, seguido pela aveia. Desta maneira, entre os cereais são os que mais contém lisina na sua composição de aminoácidos.

Na tabela 8, mostramos a composição dos aminoácidos essenciais do arroz e de outros cereais.

Tabela 8: Composição aproximada de aminoácidos em cereais.

aminoácidos (g/100g)	Arroz	Trigo	Milho	Sorgo	Cevada	Aveia	Centeio
Lisina	3,60	2,65	2,85	1,90	3,55	3,85	3,10
Metionina + Cistina	3,45	3,65	4,40	2,65	4,30	3,70	3,61
Treonina	3,70	2,95	4,10	3,50	3,65	3,50	3,48
Isoleucina	4,20	3,60	3,90	3,20	3,75	4,30	3,80
Leucina	8,00	6,50	11,30	12,30	7,00	7,05	6,23
Valina	5,60	4,45	5,30	5,30	5,15	5,30	5,10
Fenilalanina +							
Tirosina	9,50	7,70	8,75	5,80	8,55	8,60	6,63
Triptofano	1,00	1,20	0,75	0,75	1,35	1,10	1,26
Histidina	2,25	2,20	2,50	2,05	2,15	2,05	2,18
Arginina	7,75	4,50	4,65	3,00	5,2	6,35	4,36

Fonte: SHUKLA (1975)

2.5. Suplementação Nutricional de Cereais com Leguminosas

SIEGEL et alii (1975) suplementaram "noodles" de arroz com 20 e 30% de farinha de soja, e observaram que aumentando o conteúdo de soja aumentava também o conteúdo de lisina, porém diminuía o de metionina e cistina. Observaram também o aumento do valor de PER e de NPU à medida que aumentava a suplementação, atingindo valores acima da caseína. Na suplementação de farinha de arroz com 10, 20, 30 e 40 % de farinha de soja, houve também um aumento de lisina e decréscimo de metionina com o aumento do fator suplementador (CRUZ et alii, 1983).

Ao se avaliar o valor nutricional de misturas de feijão e cereais, YADAV & LIENER (1978) observaram que os resultados não eram significativamente diferentes aos da caseína, mesmo obtendo um valor de PER de 2,75 para feijão-arroz (40:60).

BAKAR & HIN (1985) reportaram a substituição de 10, 20 e 30% de farinha de soja na farinha de arroz, na fabricação de flocos de cereal para café da manhã. Eles observaram que aumentando o nível de substituição da farinha de soja, aumentava também a lisina de 3,66 para 4,94 g/100g proteína. O nível recomendável para os aminoácidos lisina e metionina segundo a *FAO/WHO (1985)* é de 5,5 e 2,2 g/100g proteína, respectivamente.

Uma qualidade nutricional ótima entre misturas de farinha de soja e farinha

de cereais, é alcançada com 25 a 30% de farinha de soja. Com a mistura de soja e milho, CHERYAN et alii (1979) obtiveram valores de PER de 2,27 na proporção 20:80 e 2,31 na proporção 33:67. O valor de PER da mistura foi bem acima que o seus componentes individuais (0,7 para milho e 2,0 para soja).

GONZALEZ-AGRAMON & SERNA-SALDIVAR (1988), fortificaram "tortillas" de trigo com 11,1% de farinha de soja desengordurada (FSD) e 5,6% de isolado protéico de soja (ISP). Os ratos alimentados com "tortillas" fortificadas apresentaram o triplo do peso ganho e o dobro do valor de PER, em relação às não fortificadas.

Foram extrusadas misturas de arroz-soja e arroz-tremoço na proporção de 80:20, para se obter um conteúdo de proteína de 12,6 e 15,3% respectivamente. RUALES et alii (1988) observaram que o aminoácido limitante de ambas misturas era o triptofano. Observaram também que o "chemical score" calculado de acordo à referência da *FAO* para as misturas de arroz-soja e arroz-tremoço foi de 76 e 72, respectivamente.

2.6. Dificuldades Ambientais para a Produção de Trigo Durum

O trigo é a cultura de maior expansão mundial. Originário do sudeste da Ásia, foi introduzido na Índia, China e Europa por volta de 5000 anos A.C.

Atualmente, cultivares adaptados são plantados até os 60° de latitude, e alguns migrando em direção aos polos. As maiores regiões de trigo no mundo estão concentrados entre 30 e 55° de latitude Norte e Sul, em climas moderadamente secos, moderadamente úmidos e temperados. Agronomicamente, o clima favorável para o trigo é descrito como tendo invernos suaves, verões quentes com alta radiação solar, sem chuvas fortes, com suprimento de água fornecido principalmente pela umidade armazenada no solo.

As maiores áreas produtoras de trigo no Brasil estão concentradas nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Os principais problemas climáticos da triticultura na Região Temperada (Rio Grande do Sul, Sta. Catarina e Sul do Paraná) são o excesso de umidade relativa do ar em setembro-outubro, ocorrência de geadas no espigamento, chuvas na colheita e granizo. Na Região Sub-Tropical (Norte e Oeste do Paraná, Sul de Mato Grosso e Oeste de São Paulo) são a umidade relativa do ar que, embora menor ainda causa moléstias, geadas e secas durante o espigamento e

chuvas na colheita (da MOTA, 1982).

Além dos problemas enfrentados com fatores climáticos, o trigo cultivado no Brasil sofre com a toxidez do alumínio, como a maior causa da baixa fertilidade. Na maioria dos solos, devido à relação inversa entre a concentração do alumínio em solução e o pH, pode-se definir a faixa de pH da suspensão solo-água compreendida entre 4,0-5,0 , como a mais provável de ocasionar serios problemas para o crescimento das plantas. Na faixa de pH situada entre 4,0-5,0 , a existência de elevadas concentrações de alumínio induzirá, obrigatoriamente, a baixas concentrações de fósforo devido a afinidade química entre ambos elementos e conseqüentemente, à deficiência desse último elemento (BLACK (1968) apud BRAUNER, 1982).

3. Material e Métodos

3.1. Material

3.1.1. Matéria Prima

Como matéria prima utilizou-se arroz tipo IAC 238-GE fornecido pelo Instituto Agrônômico de Campinas e farinha de soja desengordurada crua (Prosam R) fornecida pela Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro (SANBRA).

3.1.2. Equipamento

A extrusão das matérias-primas foram realizadas num extrusor de laboratório de rosca única, marca Brabender, tipo 20-DN, movido através do Brabender Do-Corder com motor D.C. com variação contínua de velocidade constando dos seguintes acessórios e características:

- A camisa com ranhuras internas, longitudinais e retilíneas, apresenta três zonas de aquecimento resfriadas com ar comprimido para controlar elevações de temperatura provocada pelo atrito.
- O alimentador, acoplável à parte inicial e superior da camisa do extrusor é constituído por um cone de aço inox com um parafuso vertical, de velocidade variável, que permite manter um fluxo constante de material para o extrusor. A base do alimentador é resfriado com circulação de água fria.
- A rosca, apresenta uma relação comprimento/diâmetro de 445/18,5 (mm/mm), com taxa de compressão de 3:1.
- Matriz do tipo laminar 20 x 0,8 mm, fixada na extremidade da camisa.

3.1.3. Animais

Foram utilizados 36 ratos machos, linhagem Wistar, variedade albinos, S.P.F.

(Specific Pathogen Free), recém desmamados com 21-28 dias de idade, pesando entre (56,88 - 75,22)g., provenientes do Biotério Central da UNICAMP.

3.1.4. Reagentes

Para as análises da matéria-prima e do produto acabado, foram usados reagentes com pureza analítica.

3.2. Métodos

3.2.1. Delineamento e Análise Estatística

A nível de testes preliminares, foram realizados uma série de experimentos com a farinha de arroz suplementada com a farinha de soja desengordurada (FSD). Diante dos produtos obtidos, optou-se por estudar dois parâmetros do processo para o produto suplementado: teor de proteína e temperatura, com três níveis de variação. Os níveis de variação dos parâmetros, foram estabelecidos de acordo com as possibilidades operacionais do extrusor e os resultados obtidos nos testes preliminares.

Para estudar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos produtos extrusados, foi estabelecido um experimento estatisticamente delineado em superfície de resposta, do tipo central rotatório composto de 2^a ordem (BOX et alii, 1978).

Na tabela 9 são apresentados os valores reais e codificados das duas variáveis independentes com seus respectivos níveis de variação.

Tabela 9: Valores reais e codificados das variáveis independentes com seus respectivos níveis de variação.

Variáveis independentes	Níveis de variação		
	-1	0	1
Proteína (%)	15	20	25
Temperatura (°C)	80	100	120

As variáveis foram estabelecidas em 3 níveis codificados como: -1, 0, +1, e os

valores reais correspondentes a esses níveis foram definidos pela equação:

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}$$

onde:

x_i = valor codificado da variável X_i ;

X_i = valor real da variável;

\bar{X}_i = valor real da variável no ponto central;

ΔX_i = módulo da diferença entre dois valores reais consecutivos;

De acordo com o delineamento estatístico para modelos de 2^k ordem, requer-se um número mínimo de experimentos. Neste caso usamos 13 ensaios para $K = 2$ (duas variáveis independentes: teor de proteína e temperatura).

Ditos ensaios obedecem às seguintes combinações de níveis de variáveis codificadas:

- Os pontos $(-1, -1)$; $(1, -1)$; $(-1, 1)$ e $(1, 1)$ constituem o 2^k fatorial;
- Os pontos $(-\sqrt{2}, 0)$; $(\sqrt{2}, 0)$; $(0, -\sqrt{2})$ e $(0, \sqrt{2})$ são incluídos para formar o desenho central composto com $\alpha = \sqrt{2}$, e
- Os pontos restantes de nível zero, são posicionados no centro de um círculo de raio 1, para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial (COCHRAN & COX, 1957).

O valor de α depende do número de pontos da porção fatorial e é definido pela equação:

$$\alpha = (F)^{\frac{1}{4}} = (2^k)^{\frac{1}{4}}$$

onde:

F - corresponde à porção fatorial;

k - número de variáveis independentes.

Na tabela 10 são apresentados os valores reais e codificados do delineamento

experimental composto rotacional para duas variáveis independentes em três níveis.

Tabela 10: Delineamento experimental composto rotacional para duas variáveis em três níveis.

Experimento	unidades			
	codificada		real	
	x_1	x_2	$X_1(\%)$	$X_2(^{\circ}C)$
1	-1	-1	15	80
2	1	-1	25	80
3	-1	1	15	120
4	1	1	25	120
5	0	0	20	100
6	0	0	20	100
7	0	0	20	100
8	0	0	20	100
9	0	0	20	100
10	0	α	20	128,3
11	0	$-\alpha$	20	71,7
12	α	0	27,1	100
13	$-\alpha$	0	12,9	100

$x_1, X_1 =$ Teor de proteína da matéria prima em unidades codificada e real, respectivamente;
 $x_2, X_2 =$ Temperatura de extrusão na 2ª e 3ª zonas, em unidades codificada e real, respectivamente.

Para se visualizar adequadamente os fenômenos físicos ocorridos durante a experimentação em laboratório, fizemos uso da metodologia estatística de superfície de resposta (BOX & DRAPER, 1987).

A resposta esperada da variável dependente (η) como função das variáveis independentes (ξ), pode ser escrito como:

$$\eta = \mathcal{F}(\xi)$$

para $k = 2$ variáveis independentes:

$$\eta = \mathcal{F}(\xi_1, \xi_2)$$

Devido às repetições dos resultados, as respostas podem variar pela medida de erros, observações erradas e pela variabilidade do material experimental. Por essa razão, a variável η pode ser considerada como um valor médio das respostas esperadas.

A representação da resposta observada é dada por Y , e a diferença entre a resposta observada e a esperada $Y - \eta$ dá o valor do erro ε .

Assim:

$$Y = \mathcal{F}(\xi) + \varepsilon \quad \text{ou}$$

$$Y = \mathcal{F}(x_1, x_2) + \varepsilon$$

Para se exprimir as respostas, ajustou-se através de uma análise de regressão, um polinômio completo de no máximo 2º grau em x_1 e x_2 capaz de estimar o comportamento do fenômeno estudado. Desta maneira:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

onde:

Y = é o valor da resposta;

ε = é o resíduo que representa a distorção do modelo \mathcal{F} .

x_1, x_2 = são os valores das variáveis independentes;

β_0 = é a interceptação do plano com o eixo resposta;

β_1, β_2 = são os coeficientes lineares das variáveis independentes;

β_{11}, β_{22} = são os coeficientes dos quadrados das variáveis independentes;

β_{12} = coeficiente da interação entre as variáveis independentes;

Os valores extremos das variáveis independentes estipuladas, fixam os limites do intervalo ou região onde foi estudada a superfície de resposta.

Os termos decorrentes da análise de variância, que não foram significativos, não foram incluídos no modelo nem no polinômio.

Para as análises de matéria-prima e nutricionais realizadas com ratos, usaram-se análises de variância e regressão linear pelo método dos mínimos quadrados (DOWDY & WEARDEN, 1983).

O processamento dos dados e a análise estatística, bem como os gráficos de representação tridimensional, foram realizados num computador PC 486 com o uso do pacote "S_plus".

3.2.2. Métodos Experimentais

1. Preparo das matérias-primas

A matéria-prima utilizada para a extrusão foi preparada a partir de arroz e farinha de soja desengordurada (FSD). Para se realizar o experimento de extrusão, houve necessidade de se conhecer a porcentagem de proteína de cada componente da matéria-prima, sendo estes: arroz = 7,75% e FSD = 50,50%. Com estes valores de proteína, foi possível calcular através da fórmula seguinte, as quantidades de cada componente da matéria-prima que seriam necessárias misturar, para se atingir o teor de proteína estipulado no delineamento estatístico (Tabela 10).

$$A.P_a + S.P_s = (A + S).P_{a+s}$$

onde:

A = peso do arroz (g)

P_a = teor de proteína do arroz (%)

S = peso da FSD (g)

P_s = teor de proteína da FSD (%)

$A + S$ = quantidade total desejada da mistura (g)

P_{a+s} = teor de proteína desejada da mistura (%)

Após o cálculo, os componentes foram misturados numa bateadeira planetária comum, até ficarem bem homogeneizados. Retirou-se uma amostra por experimento a ser realizado, e determinou-se experimentalmente o teor de proteína da matéria-prima a ser extrusada. Logo procedeu-se à determinação da umidade para o cálculo da proteína em base seca e para a

realização do condicionamento.

2. Condicionamento das matérias-primas

Após a determinação da umidade, as amostras foram condicionadas na mesma bateadeira usada para homogeneização, até o nível de 24,0% de umidade. O condicionamento foi realizado com água destilada, adicionada com pipeta lentamente na velocidade mínima, até ficar bem homogêneo.

As matérias-primas foram recolhidas em sacos plásticos e guardadas em geladeira por 24 horas. Após esse período, a umidade foi novamente determinada para confirmação do teor desejado.

A quantidade de água adicionada às matérias-primas foi calculada pela seguinte relação:

$$y = \frac{(U_f - U_i)}{100 - U_f} \cdot P$$

onde:

y = quantidade de água a ser adicionada (ml)

U_f = umidade final da amostra

U_i = umidade inicial da amostra

P = peso da amostra (g)

3. Processamento

Para se efetuar a extrusão, foi necessário manter a taxa de alimentação constante e igual para todas as amostras, e foi estabelecida de forma a fornecer 50g. de material/min. Para essa finalidade, construíram-se dois gráficos de gramas de material/min. versus rpm da rosca do alimentador, a partir da coleta e pesagem do material, que passava pelo alimentador em 1 min.

Para a extrusão das amostras, mantivemos constantes as seguintes condições:

- Taxa de compressão da rosca do extrusor de 3:1;

- Velocidade da rosca do extrusor de 120 rpm;
- Umidade do material de 24,0%;
- Matriz do tipo laminar de 20 x 0.8 mm e
- Taxa de alimentação de material de 50g/min.

Quando as zonas de aquecimento do extrusor alcançavam as temperaturas desejadas de 80°C na 1ª zona em todos os experimentos e variadas na 2ª e 3ª zonas, conforme delineamento estatístico (tabela 10), foi iniciado o fornecimento do material, tendo-se o cuidado de manter o nível do mesmo no alimentador, sempre constante durante o processo.

O produto extrusado foi coletado após o processo atingir o seu equilíbrio, verificado pela constância no gráfico de torque.

As amostras coletadas foram separadas ainda quentes para evitar que grudem umas com as outras e deixadas resfriar durante à noite. No dia seguinte foram colocadas em estufa a 40-50 °C por mais ou menos 8 horas e logo acondicionadas em sacos plásticos para posterior utilização nas análises.

3.2.3. Métodos Analíticos

1. Umidade

Foi determinada a $(130 \pm 3)^\circ\text{C}$ por uma hora segundo o método nº 14004 da AOAC (1984).

2. Proteína

Determinou-se o nitrogênio total, através do método micro-Kjeldahl nº 46-13 AACC (1983), multiplicando-se pelo fator 5,71 para a farinha de soja desengordurada e pelo fator 5,95 para o arroz e para as misturas com soja, para se obter o teor de proteína bruta.

3. Cinzas

Foram determinadas pela calcinação do material a 600°C por 2 horas, de acordo ao método nº 08-03 AACC (1983).

4. Gordura

Determinou-se através da extração contínua com éter de petróleo, pelo método nº 30-25 AACC (1983).

5. Carboidratos

Incluiu-se neste item fibra e amido, calculado por diferença.

6. Índice de Absorção de Água (IAA)

Este método foi originalmente desenvolvido para medir a força de intumescimento do amido. A absorção de água depende da disponibilidade de grupos hidrofílicos para se ligarem às moléculas de água e da capacidade de formação de gel das macromoléculas (GOMES & AGUILERA, 1983).

O IAA foi descrito por KITE et alii (1957) e modificado por ANDERSON et alii (1969) e expresso como:

$$IAA = \frac{\text{Peso resíduo centrifugação (g)}}{\text{Peso amostra (b.s.) (g) - Peso resíduo evaporação (g)}} 100$$

7. Índice de Solubilidade em Água (ISA)

O ISA expressa a porcentagem do material seco originalmente solubilizado por gramas de peso seco. É relacionado com a quantidade de sólidos solúveis de uma amostra seca.

Os sólidos solúveis foram determinados a partir da evaporação do sobrenadante, resultante da centrifugação obtida da análise de IAA, e expressa

como:

$$ISA = \frac{\text{Peso do resíduo da evaporação (g)}}{\text{Peso amostra (b.s.) (g)}} 100$$

8. Viscosidade

A viscosidade pode ser considerada como a força interna ou atrito interno de um fluido, resistindo ao seu fluxo ou escoamento (RASPER, 1980).

A viscosidade das amostras foi determinada usando-se o Viscoamílografo Brabender com cabeçote de 700cmg. e a 75rpm, pelo método nº 22-10 AACC (1983) modificado.

A solução usada no Viscoamílografo possuía uma concentração de 12% de sólidos, com sua respectiva correção de umidade para 14%. A temperatura inicial de 30°C foi aumentada numa taxa de aquecimento de 1,5°C/min até 90°C, e mantida nessa temperatura por 20 minutos, decrescendo logo na mesma taxa até 50°C.

Para a interpretação do Viscoamílografo, usou-se os seguintes parâmetros:

- Viscosidade inicial à temperatura de 30°C: é o valor da viscosidade no ponto onde se inicia o amilograma à temperatura de 30°C medido em unidades amilográficas (U.A.).
- Viscosidade a 90°C: é o valor da viscosidade ao se atingir a temperatura de 90°C no ciclo de aquecimento, em U.A.
- Viscosidade a 50°C: é o valor da viscosidade em U.A. obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C.

9. Determinação de Cor

A cor das amostras extrusadas foi determinada usando-se o Espectrofotômetro de Refletância Difusa (Macbeth), sistema COMCOR MS-1500 PLUS com sensor ótico geométrico de esfera, com ângulo de observação de reflexão de 10° e iluminante D65 (Luz do Dia). Para determinação do índice de amarelo usou-se o iluminante C (Luz incandescente) segundo ASTM E 313-73.

A figura 3 mostra a representação sólida de cor do sistema Hunter corrigido pela CIE, onde os valores de L^* (brilho) flutuam entre zero (preto) e 100 (branco), $-a^*$ (verde) até $+a^*$ (vermelho) e $-b^*$ (azul) até $+b^*$ (amarelo).

Em placa Petri de 100mm de diâmetro e 20mm de altura, colocou-se aproximadamente 90 ml de água destilada. Esperou-se que a água entrasse em ebulição e colocou-se 4 pedaços do macarrão com aproximadamente 30mm de comprimento. Quando atingidos os 4 minutos de cozimento, os pedaços eram rapidamente retirados da água e colocados empilhados sobre o sensor ótico de 10x5mm.

Foram feitos 3 repetições para cada amostra e cada uma das repetições foram lidas em 3 posições diferentes (centro, direita e esquerda).

10. Determinação de textura

A textura pode ser definida como a sensação de tato ou percepção pelas mãos ou boca, desde que estas qualidades ou atributos dos alimentos não sejam sentidos por outros órgãos. Por estas sensações serem cinestésicas (sensações musculares), é possível sua medição por meios mecânicos, em unidades de massa ou força (KRAMER, 1973).

A textura das amostras extrusadas foi determinada usando-se o Texture Analyzes TA-XT2 com célula de uma só lâmina tipo SS de 3mm de espessura na base de corte, à velocidade de 2,5mm/seg com deslocamento de 10mm (deslocamento suficiente para cortar toda a amostra).

Em placa Petri de 100mm de diâmetro e 20mm de altura, colocou-se aproximadamente 90ml de água destilada e 2 gotas de azeite de oliva. Esperava-se

que a água entrasse em ebulição e colocavam-se 4 pedaços de macarrão de aproximadamente 40mm de comprimento.

Quando atingidos os 4 minutos de cozimento, o fogo era imediatamente desligado, e os pedaços rapidamente retirados da água e empilhados sob a lâmina, para a realização da leitura. Foram feitas 5 repetições para cada amostra, e os resultados expressos em gramas.

CIE COLOR SPACE

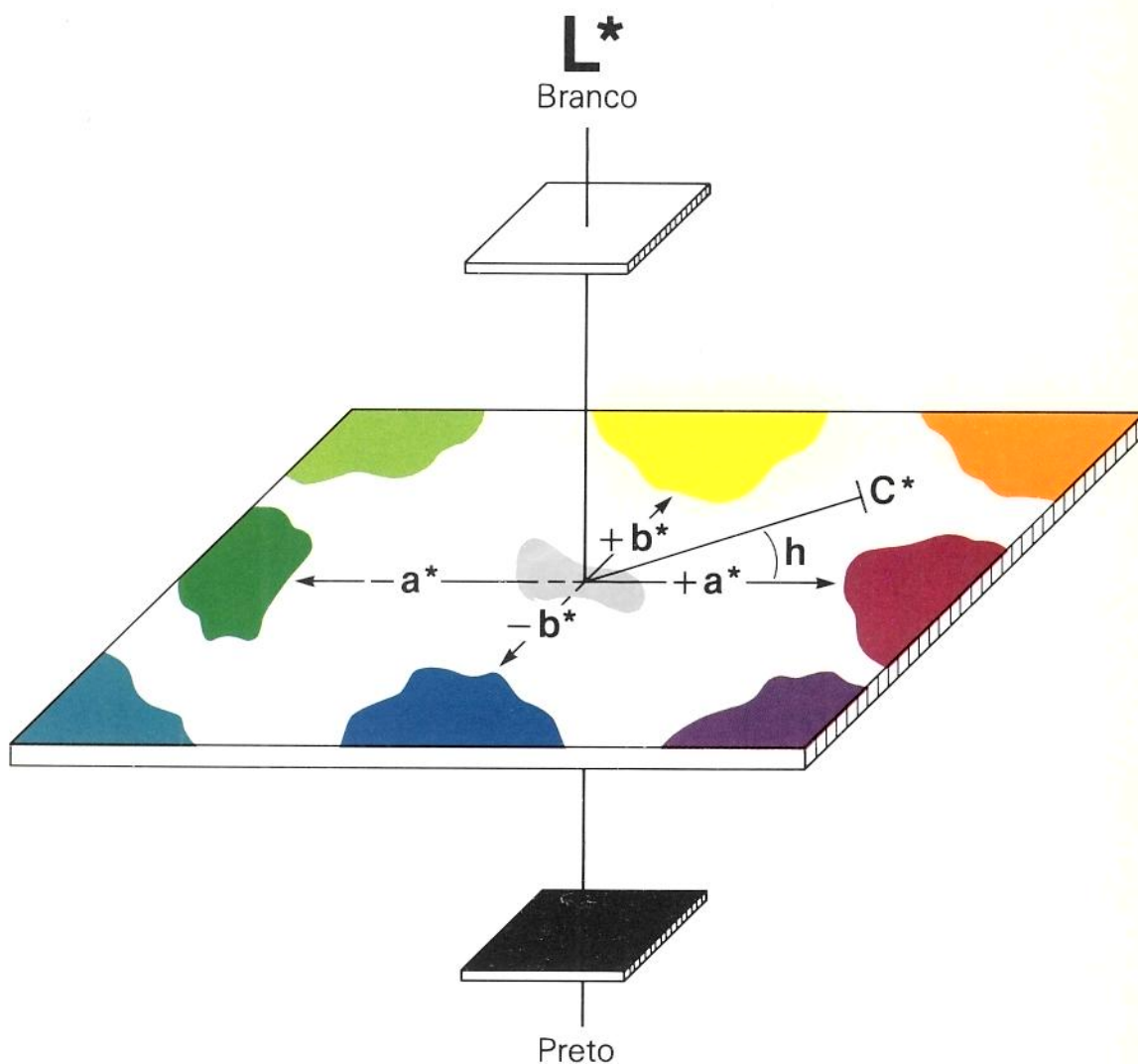


Figura 3: Representação sólida de cor com seus componentes do sistema Hunter, corrigidos pela CIE.

11. Teste de Cozimento

O teste de cozimento é a avaliação principal da qualidade do macarrão. Através dele verifica-se a qualidade das proteínas que o compõem, a capacidade de absorção de água e a perda dos sólidos solúveis na água de cozimento.

(a) Tempo de Cozimento

Colocou-se numa panela comum, 1000ml de água destilada em fogo brando até atingir a ebulição. Quando a ebulição foi alcançada, colocou-se 100g de macarrão, esperou-se a nova ebulição e marcaram-se varios tempos, de 1 a 10 minutos. Se o produto estiver "al dente", este será o tempo de cozimento.

(b) Aumento de Peso (ΔP)

Para a determinação do aumento de peso foi usado o aparelho Bühler sugerido pelo Método Borasio (HUMMEL, 1966) porém com modificações, como descrito a seguir:

Pesou-se 50g de macarrão e colocou-se no cesto do aparelho Bühler. Colocou-se no recipiente do mesmo aparelho, 500ml de água destilada até atingir a temperatura de 97-98°C. Uma vez atingida a temperatura, colocou-se o cesto com macarrão dentro do recipiente com a água em ebulição e colocou-se a tampa com o termômetro.

O tempo de cozimento começava a ser cronometrado após atingida novamente a temperatura de 97-98°C. Quando finalizado o tempo de cozimento (4 minutos), o aquecimento era imediatamente desligado, a tampa e a chave para dreno, aberta. Quando a água de cozimento era drenada, o cesto era erguido e cuidadosamente lavado para retirar os restos perdidos pelo macarrão, e ir se juntar com a água de cocção. Após efetuada a lavagem, deixava-se escorrer o macarrão por 2 minutos para realizar a pesagem.

O aumento de peso expressou-se da seguinte maneira:

$$\Delta P = \frac{\text{Peso cozido} - \text{Peso cru}}{\text{Peso cru}} 100$$

Os resultados das amostras foram expressas em triplicata.

(c) Aumento de Volume (ΔV).

Com o macarrão cozido e pesado, obtido pelo método descrito anteriormente, determinava-se o aumento de volume, pela imersão do macarrão numa proveta de 1000ml contendo 500ml de água destilada.

O volume de água deslocada pelo macarrão, era o volume do macarrão cozido.

Para o cálculo do aumento de volume, usou-se a seguinte relação:

$$\Delta V = \frac{\text{Volume cozido} - \text{Volume cru}}{\text{Volume cru}} 100$$

Os resultados das amostras foram feitas em triplicata.

(d) Perda de Sólidos Solúveis (SS)

O material que é lixiviado durante o cozimento é denominado sólidos solúveis, e expresso como o quociente do resíduo seco e o peso da amostra.

A água de cocção e de lavagem do macarrão foram recolhidas num becker de 1000ml, transferidas para um balão volumétrico de 1000ml e após resfriamento completava-se o seu volume.

Pipitava-se 50ml desta água e colocava-se em placa Petri previamente tarada. De cada balão volumétrico tiravam-se 2 aliquotas de 50ml, realizando-se o teste em triplicata, completando assim 6 placas por amostra.

As placas com as aliquotas eram colocadas sobre uma chapa de aquecimento para evaporar a maior quantidade de água e logo era colocada em estufa a 110°C até peso constante.

A perda de sólidos foi expressa da seguinte maneira:

$$SS = \frac{\text{Peso do resíduo seco} \cdot 20}{\text{Peso amostra (b.s.)}} 100$$

12. Atividade Ureática (AU)

A atividade ureática é usada como índice de destruição térmica do inibidor de tripsina (MCNAUGHTON, 1981). ALBRECHT et alii (1966), compararam a destruição do inibidor de tripsina com a atividade ureática, e observaram que ambos eram prontamente destruídos pelo mesmo tratamento térmico. Para uma AU de 0,3 Δ pH, obtiveram valores menores que 0,2mg do inibidor de tripsina por grama de material.

Para a determinação da presença da enzima urease, usou-se o método nº Ba 9-58 da AOCS (1979).

13. Índice de Proteína Dispersível (IPD)

O IPD em processos de cocção reflete geralmente o grau de tratamento térmico recebido pelo produto (MUSTAKAS et alii, 1964).

O valor do IPD foi calculado pelo método nº Ba 10-65 da AOCS (1979) com algumas modificações, sendo estas:

Após a solubilização e homogeneização da amostra na água, posicionou-se um misturador de alta rotação com hélice de 4 pás cilíndricas perfeitamente balanceadas, dentro de um becker de 600ml.

O misturador era ligado a 7200rpm por 10 minutos. O material era transferido para recipientes herméticamente fechados, e guardados em geladeira até o fim do processo de mistura. Após decantação, pipetavam-se 30ml do sobrenadante em tubo de centrifuga de 50ml. Centrifugava-se a 1800g por 10 minutos. Pipetava-se 5ml do sobrenadante e colocava-se em tubo de Kjeldahl para a determinação da porcentagem de proteína dispersível em água (PDA), pela seguinte relação:

$$PDA = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 0,014 \times 6,25}{P_a \text{ (b.s.)} / 60} 100$$

onde:

Va - Volume de HCl gasto na titulação da amostra;

Vb - Volume de HCl gasto na titulação do branco;

N - Normalidade do HCl;

Pa (b.s.) - Peso da amostra em base seca;

O valor do IPD é o quociente entre a proteína dispersível em água e a proteína total.

$$IPD = \frac{\% \text{Proteína Dispersível em água}}{\% \text{Proteína total}} 100$$

3.2.4. Métodos Biológicos

1. Descrição

Devido às condições disponíveis para a realização do ensaio biológico, foi necessário restringir o número de tratamentos a serem estudados, portanto optou-se de acordo com os testes preliminares, pelo estudo de 2 temperaturas de extrusão (100 e 128,3 °C) e 3 teores de proteínas da matéria prima (12,9 , 20 e 27,1%) para elaboração das dietas e estudo das características nutricionais do macarrão de arroz.

A Tabela 11 mostra os tratamentos que foram utilizados no estudo das características nutricionais do macarrão de arroz.

Tabela 11: Tratamentos utilizados nas características nutricionais do macarrão de arroz.

Experimento	Variáveis de Extrusão	
	x_1	x_2
1	12,9	100
2	20	100
3	20	128,3
4	27,1	100

x_1 : Teor de proteína da matéria prima (%)

x_2 : Temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

Para as análises nutricionais realizadas com os ratos, consideramos 3 contrastes ortogonais (BOX et alii, 1978):

- (a) Dietas de macarrão de arroz processadas com diversos teores de proteína e temperaturas, versus dieta de caseína.

Este contraste compara a média das análises das 4 dietas de macarrão de arroz com a média de caseína, da seguinte maneira:

$$\mu_c - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4) / 4$$

onde:

μ_c - média da dieta de caseína

μ_1 - média da dieta com 12,9% de proteína e 100 $^{\circ}C$

μ_2 - média da dieta com 20% de proteína e 100 $^{\circ}C$

μ_3 - média da dieta com 20% de proteína e 128,3 $^{\circ}C$

μ_4 - média da dieta com 27,1% de proteína e 100 $^{\circ}C$

- (b) Dieta de macarrão processado à temperatura de 100 $^{\circ}C$, versus dieta de macarrão processado a 128,3 $^{\circ}C$, com teor de proteína fixado em 20%.

Este contraste compara a média da dieta de macarrão de arroz processado a 100 $^{\circ}C$ com média da dieta do macarrão processado a 128,3 $^{\circ}C$, da seguinte maneira:

$$\mu_2 - \mu_3$$

- (c) Dieta de macarrão de arroz processado com 12,9% de proteína versus dieta de macarrão processado com 27,1% de proteína, com temperatura de extrusão fixada em 100°C.

Este contraste compara a média da dieta de macarrão de arroz processado com 12,9% de proteína com a média da dieta macarrão processado com 27,1% de proteína, da seguinte maneira:

$$\mu_1 - \mu_4$$

Os ratos foram pesados e distribuídos em 6 grupos de 6 ratos, segundo o delineamento em blocos casualizados (DOWDY & WEARDEN, 1983) com um número inicial de 60 ratos, do qual foram utilizados apenas os 36 ratos de pesos medianos, de forma a obter a mesma variação de pesos iniciais em cada dieta.

No decorrer do experimento, os ratos foram mantidos em gaiolas individuais com água e ração "ad libitum". O experimento teve uma duração de 28 dias com pesagens frequentes, sendo que durante os últimos 5 dias foram mantidos em gaiolas metabólicas para a coleta de urina e fezes. As fezes foram coletadas sobre uma tela de metal sobre o funil metabólico, secas em estufa a 45°C durante um dia, cuidadosamente limpas de restos de ração, moídas e guardadas para posterior análise de nitrogênio. A urina foi coletada em Erlenmeyer de 500ml; cuidadosamente tampados com lã de vidro para evitar a passagem de restos de fezes ou ração; contendo 20ml de ácido sulfúrico a 50% e diluído até um volume de 100ml para o grupo de ratos com ração aprotéica e até um volume de 250ml para o resto.

2. Preparo das dietas

Foram preparadas 6 rações, sendo que 4 delas são provenientes dos produtos extrusados com 20% de proteína a 100°C, 20% de proteína a 128,3°C, 27,1% de proteína a 100°C e 12,9% de proteína a 100°C (tabela 11), e 2 rações de controle; uma isenta de proteínas(aprotéica) e a outra com caseína.

A composição centesimal das dietas está apresentada na tabela 12, segundo ALLISON (1964) e HURT et alii (1975) e nas tabelas 13 e 14 os valores da composição da mistura salina, segundo o método nº 43253 AOAC (1984) e vitamínica, segundo a *Nutritional Biochemicals Corporation* (NBC) de 1977/1978, respectivamente.

Considerando-se o teor de gordura presente na matéria prima, adicionou-se óleo de milho às rações para atingir 8%.

Tabela 12: Composição centesimal das dietas utilizadas nos ensaios biológicos.

Componentes(b.U.)	(%)
proteína.....	10
gordura.....	8
sais minerais.....	4
vitaminas.....	2
fibras (celulose).....	1
sacarase.....	25
amido.....	50

Fonte: ALLISON (1964) e HURT et alii (1975).

Tabela 13: Composição centesimal da mistura salina utilizada nas dietas para os ensaios biológicos.

Componentes	(%)
Carbonato de cálcio ($CaCO_3$)	38,14
Biofosfato de potássio (KH_2PO_4)	38,90
Cloreto de sódio ($NaCl$)	13,93
Sulfato de magnésio ($MgSO_4$)	5,73
Sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$)	2,70
Sulfato de manganês ($MnSO_4.H_2O$)	0,401
Sulfato de zinco ($ZnSO_4.7H_2O$)	0,0548
Sulfato de cobre ($CuSO_4.5H_2O$)	0,0477
Cloreto de cobalto ($CoCl_2.6H_2O$)	0,0023
Iodeto de potássio (KI)	0,079

Método N° 43253 AOAC (1984).

Tabela 14: Composição da mistura vitamínica utilizada nas dietas para os ensaios biológicos.

Componentes	gramas
Parte A:	
Vitamina A palmitato	3,60
Vitamina D3	1,00
Vitamina E	10,00
Ácido ascórbico	45,00
Cloreto de tiamina	1,00
Cloreto de piridoxina	1,00
Biotina	0,02
Pantotenato de cálcio	3,00
Ácido fólico	0,09
Riboflavina	1,00
Cianocobalamina 0,1%	1,35
Inositol(q.s.p.)	5,00
Menadiona	1,47
Ácido p-aminobenzóico	5,00
Niacina	4,50
Dextrose(q.s.p.)	416,12
	<u>500,00</u>
Parte B:	
Cloreto de colina 50%	150,00
Dextrose(q.s.p.)	350,00
	<u>500,00</u>

Fonte: Nutritional Biochemical Corporation.

3. Quociente de Eficiência Protéica (PER)

Para a obtenção dos valores do PER, pesaram-se os animais durante os 28 dias de teste e para o cálculo usou-se o método nº 43257 AOAC (1984), da seguinte maneira:

$$PER = \frac{\text{Peso ganho (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

Para o cálculo do valor de PER, corrigido em relação á caseína, usou-se a

seguinte relação:

$$PER_{cor.} = \frac{PER \text{ proteína teste}}{PER \text{ caseína}} \cdot 2,5$$

4. Quociente Protéico Líquido (NPR)

Na avaliação do NPR, usou-se o método proposto por BENDER & DOEL (1957). Segundo MCLAUGHLAN & KEITH (1975), este método leva vantagens sobre o PER, pois mede de uma maneira melhor a qualidade de uma proteína, devido ao acréscimo da perda de peso do grupo com ração aprotéica, na relação definida como:

$$NPR = \frac{\text{Peso ganho (g)} + \text{Peso perdido grupo aprotéico (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

O cálculo foi efetuado, a partir dos dados dos 12 primeiros dias da realização do PER.

5. Digestibilidade Verdadeira (Dv)

A Dv foi determinada pela medida do nitrogênio ingerido, do nitrogênio eliminado pelas fezes e do nitrogênio fecal endôgeno (PELLER & JOUNG, 1980), segundo a relação:

$$Dv = \frac{NI - (NF - NFe)}{NI} 100$$

onde:

NI - nitrogênio total ingerido;

NF - nitrogênio total fecal;

NFe - nitrogênio fecal endôgeno.

Resumidamente, a Digestibilidade (D) é o quociente entre o nitrogênio absorvido e o nitrogênio ingerido.

$$D = \frac{\text{Nitrogênio absorvido}}{\text{Nitrogênio ingerido}}$$

6. Valor Biológico Verdadeiro (VBv)

O VBv foi determinado de acordo com o método de MITCHELL (1924), pela medida dos nitrogênios ingerido, fecal, fecal endôgeno, urinário e urinário endôgeno, segundo a relação:

$$VBv = \frac{NI - [(NF - NFe) + (NU - NUe)]}{NI - (NF - NFe)} 100$$

onde:

NI - nitrogênio total ingerido;

NF - nitrogênio total fecal;

NFe - nitrogênio fecal endôgeno;

NU - nitrogênio total urinário;

NUe - nitrogênio urinário endôgeno.

Resumidamente, o valor Biológico (VB) é o quociente entre o nitrogênio retido e o nitrogênio absorvido.

$$VB = \frac{\text{Nitrogênio retido}}{\text{Nitrogênio absorvido}}$$

7. Utilização Líquida Verdadeira de Proteína (NPUv)

O valor de NPUv foi determinado pelo método de BENDER & MILLER (1953), segundo a relação:

$$NPUv = \frac{NI - [(NF - NFe) + (NU - NUe)]}{NI} 100$$

onde:

NI - nitrogênio total ingerido;

NF - nitrogênio total fecal;

NFe - nitrogênio fecal endôgeno;

NU - nitrogênio total urinário;

NUE - nitrogênio urinário endôgeno.

Resumidamente, a utilização Líquida de Proteína (NPU) é o quociente entre o nitrogênio retido e o nitrogênio ingerido.

$$NPU = \frac{\text{Nitrogênio retido}}{\text{Nitrogênio ingerido}}$$

Em essência, representa o Valor Biológico multiplicado pela Digestibilidade da proteína (SCHELLING, 1975).

4. Resultados e Discussões

4.1 Caracterização da matéria-prima arroz-soja

Antes de se proceder à extrusão, foram misturadas a farinha de arroz (7,75% proteína) e a farinha de soja desengordurada (50,50% proteína) para compôr as matérias-primas, sendo estas depois caracterizadas tecnologicamente de acordo ao seu teor de proteína, e apresentadas a seguir:

4.1.1. Índice de Absorção de Água (IAA)

O IAA apresenta uma relação linear direta com a porcentagem de proteína (figura 4), com um modelo estimado por:

$$IAA = 308,15 + 28,96P \quad \text{com } R^2 = 0,9057$$

Os valores de IAA da matéria-prima analisada são apresentados na tabela 15.

Tabela 15: Caracterização da matéria-prima arroz-soja em função do teor de proteína.

Proteína (%)	IAA (%)	ISA (%)	IPD (%)	AU (Δ pH)	V_{max} (UA)	V_{90} (UA)	V_{50} (UA)
12,9	275,8	4,8	18,6	1,43	1030	840	2090
15,0	284,0	7,0	25,7	1,85	840	700	1380
20,0	303,9	9,2	36,2	2,08	540	460	940
25,0	352,4	17,4	41,1	2,18	350	330	720
27,1	354,9	19,6	44,1	2,18	270	240	590

-
- IAA : Índice de Absorção de água.
 - ISA : Índice de solubilidade em água.
 - IPD : Índice de proteína dispersível.
 - AU : Atividade Ureática.
 - V_{max} : Viscosidade máxima.
 - V_{90} : Viscosidade a 90°C.
 - V_{50} : Viscosidade a 50°C.

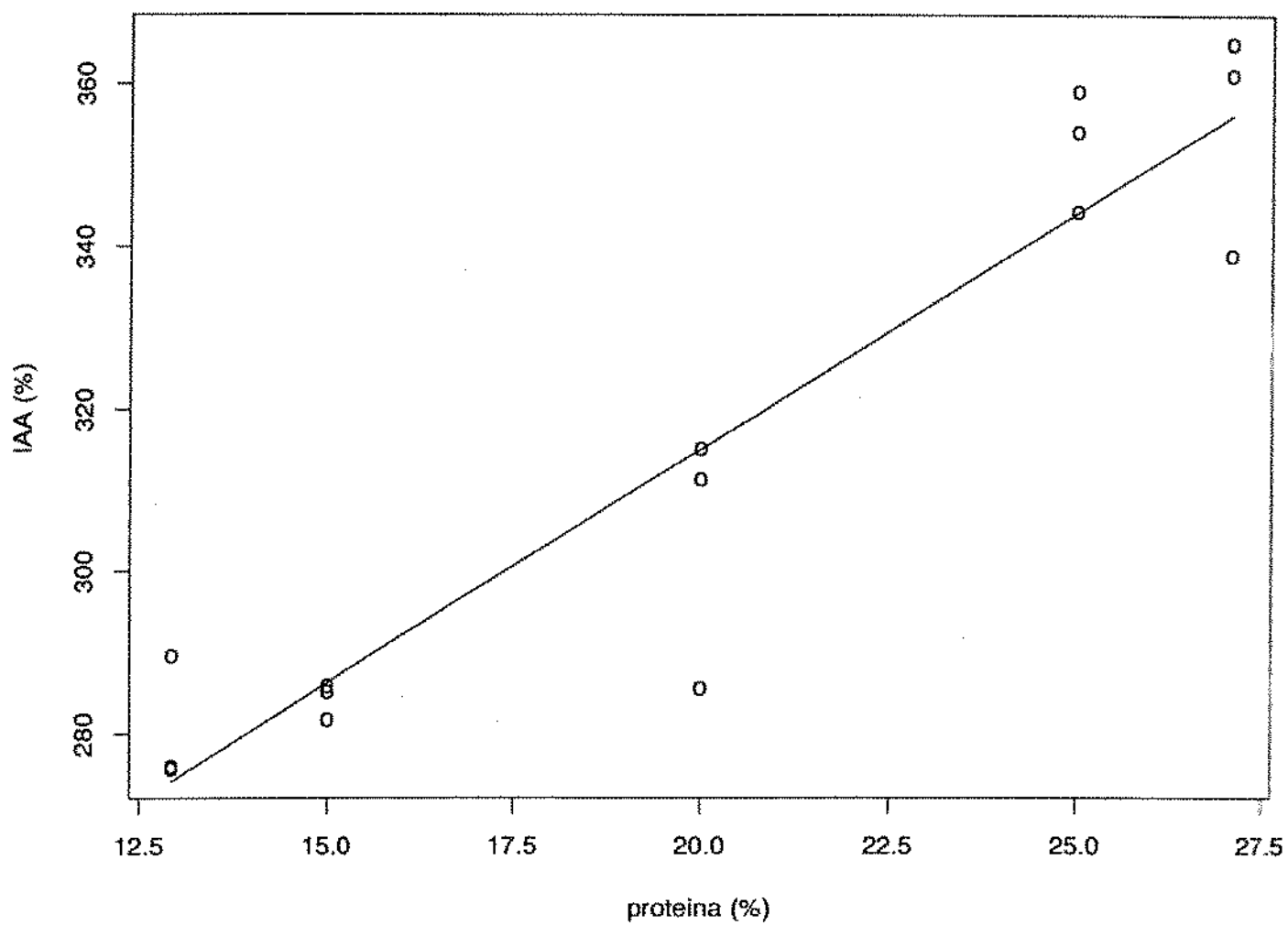


Figura 4: Efeito do teor de proteína da matéria-prima no índice de absorção de água (IAA)

4.1.2. Índice de Solubilidade em Água (ISA)

O ISA apresenta uma relação quadrática côncava com o aumento da porcentagem de proteína (figura 5), com um modelo estimado por:

$$ISA = 9,71 + 4,65P + 1,99P^2 \quad \text{com } R^2 = 0,8495$$

Os valores de ISA da matéria-prima analisada são apresentados na tabela 15.

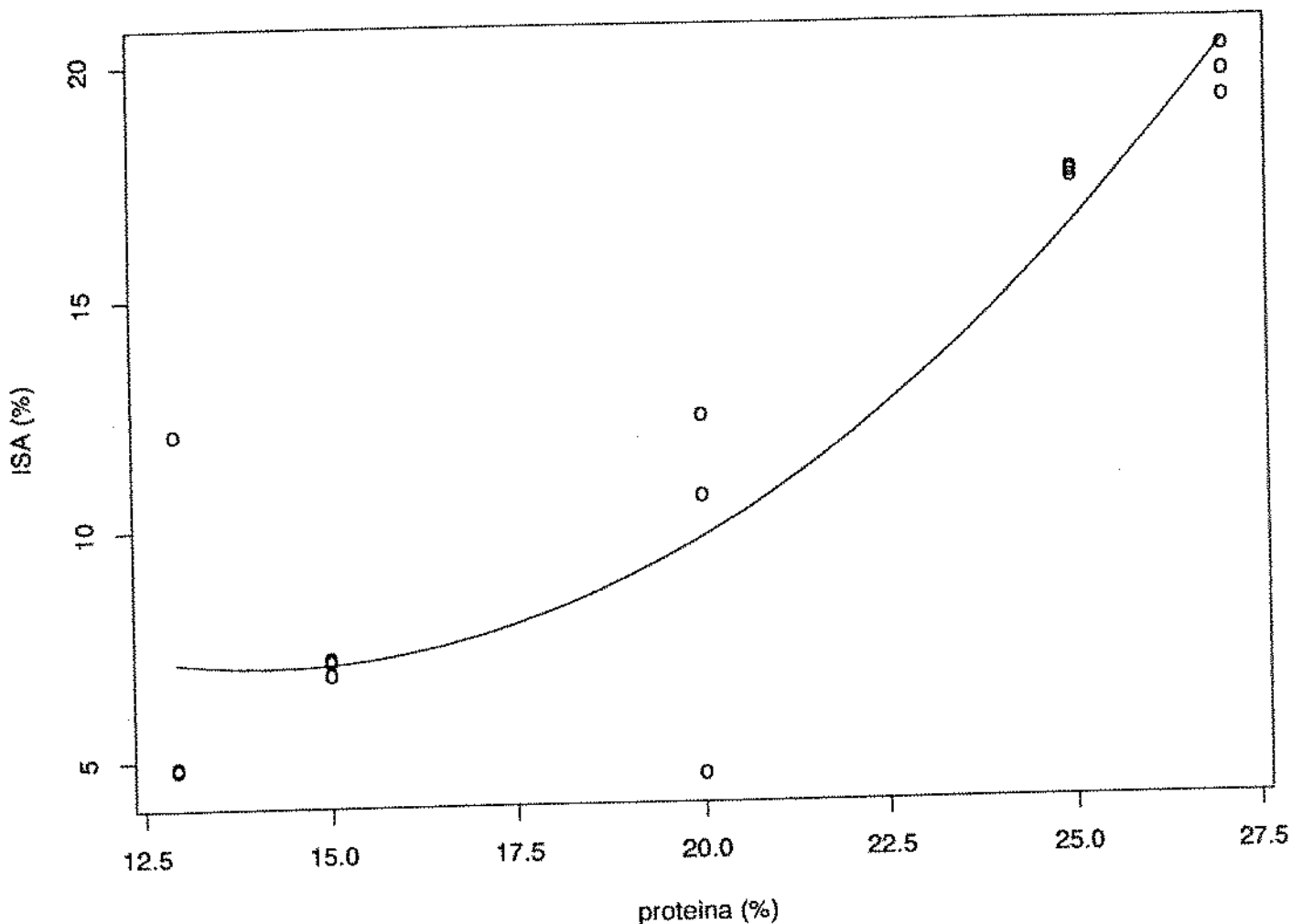


Figura 5: Efeito do teor de proteína da matéria-prima no índice de solubilidade em água (ISA)

4.1.3. Índice de Proteína Dispersível (IPD)

O IPD apresenta uma relação quadrática convexa com o aumento da porcentagem de proteína (figura 6), com um modelo estimado por:

$$IPD = 35,81 + 8,17P - 2,56P^2 \quad \text{com } R^2 = 0,9804$$

Os valores de IPD da matéria-prima analisada são apresentados na tabela 15.

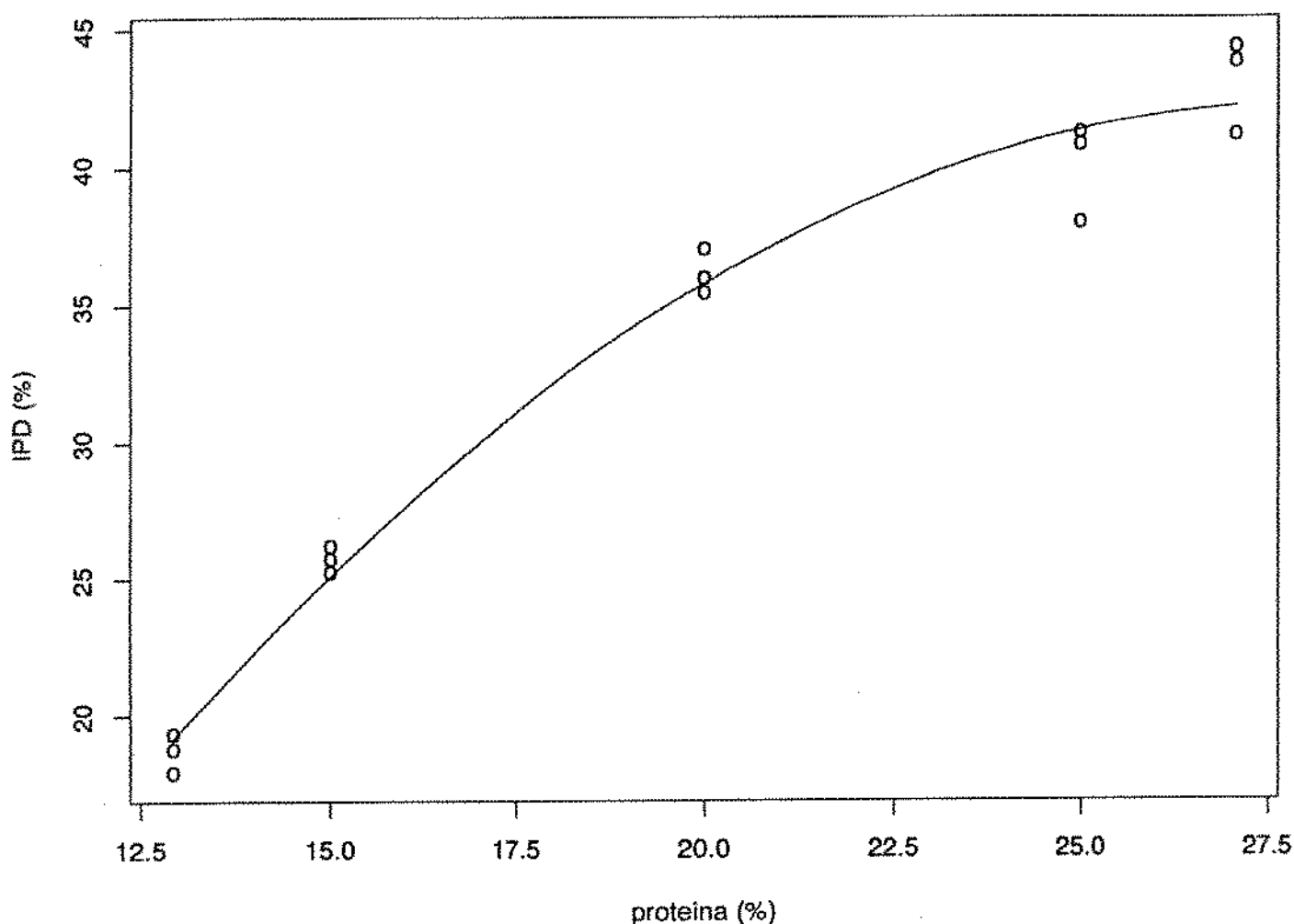


Figura 6: Efeito do teor de proteína da matéria-prima no índice de proteína dispersível (IPD)

4.1.4. Atividade Ureática (AU)

O comportamento da enzima urease, como função da porcentagem de proteína, apresenta-se crescente, atingindo um máximo no final do intervalo observado, e decresce de maneira côncava (figura 7), com um modelo estimado por:

$$AU = 2,12 + 0,23 P - 0,15 P^2 \quad \text{com } R^2 = 0,9432$$

Os valores determinados da enzima urease são apresentados na tabela 15.

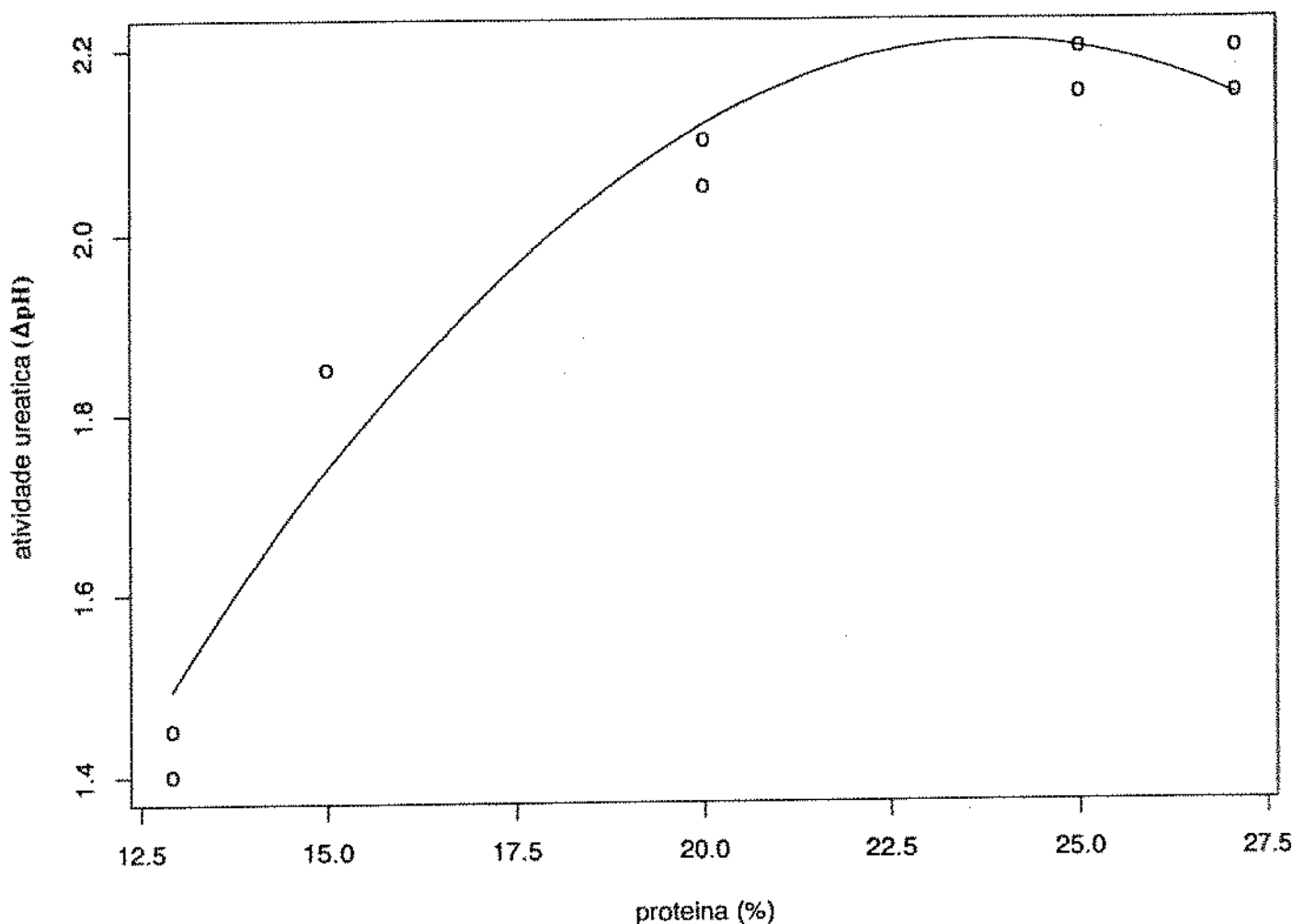


Figura 7: Efeito do teor de proteína da matéria-prima na atividade ureática (AU)

4.1.5. Determinação de Viscosidade (V)

Pela correlação existente entre a viscosidade máxima (V_{max}), a viscosidade a $90^{\circ}C$ (V_{90}) e a viscosidade a $50^{\circ}C$ (V_{50}) no ciclo de resfriamento, estabelecemos um único modelo de regressão linear para as três viscosidades, estimado por:

$$V = 754,6 + \alpha - 309,5P \quad \text{com } R^2 = 0,870$$

onde:

$$\alpha = 269,0 \text{ para } V_{max}$$

$$\alpha = -120,3 \text{ para } V_{90}$$

$$\alpha = -148,7 \text{ para } V_{50}$$

Através da equação de regressão construímos as três curvas de viscosidade, apresentando um comportamento linear em função do teor de proteína da matéria-prima (figura 8).

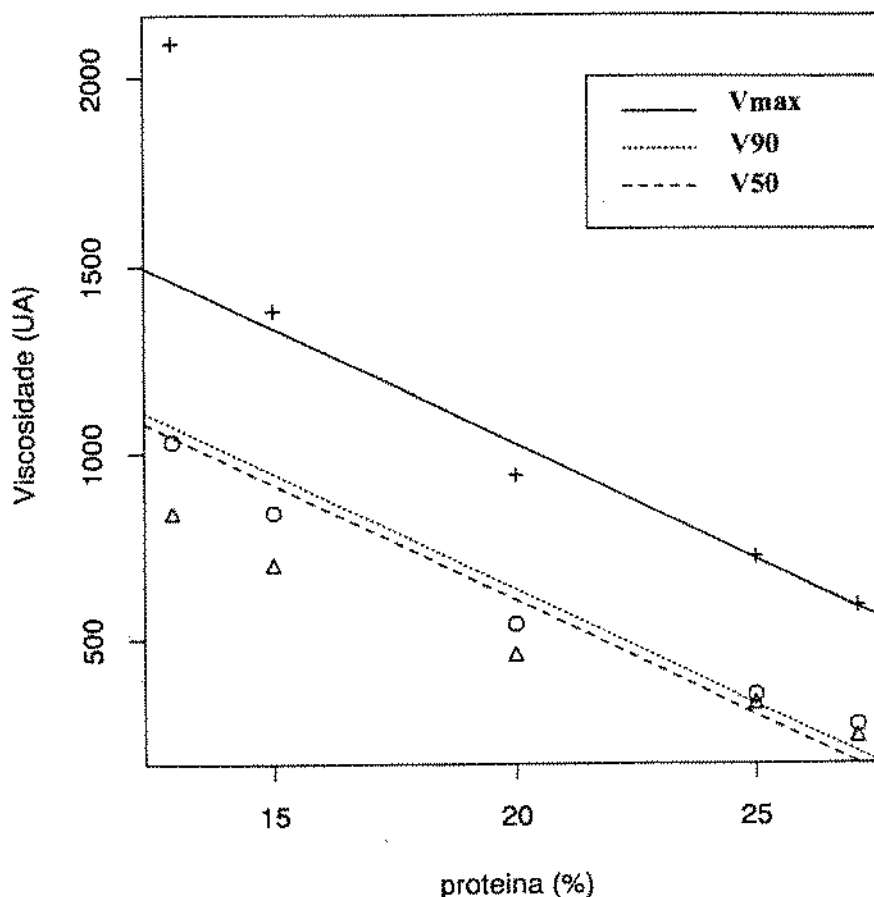


Figura 8: Efeito do teor de proteína da matéria-prima na viscosidade (V)

Os valores de viscosidade da matéria-prima são apresentados na tabela 15.

4.2. Efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da farinha de soja desengordurada nas características tecnológicas do macarrão de arroz

4.2.1. Índice de Absorção de água (IAA)

Os valores achados experimentalmente para o IAA de acordo às condições dos tratamentos, são apresentados na tabela 16.

A análise de variância (ANOVA) e as estimativas dos coeficientes do modelo podem ser vistos na tabela 17.

Tabela 16: Valores experimentais do Índice de Absorção de Água (IAA) com as variáveis do processo de extrusão.

Experimento	Variáveis de Extrusão		IAA (%)
	X_1	X_2	
1	15	80	514,6
2	25	80	509,4
3	15	120	788,0
4	25	120	533,0
5	20	100	571,9
6	20	100	581,2
7	20	100	583,0
8	20	100	564,0
9	20	100	583,3
10	20	128,3	654,7
11	20	71,7	485,7
12	27,1	100	618,9
13	12,9	100	591,5

X_1 : Teor de proteína da matéria-prima (%)

X_2 : Temperatura de extrusão ($^{\circ}C$).

Tabela 17: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o Índice de Absorção de Água (IAA).

Fontes de variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	18398,21	18398,21	12,04	0,0014
T	1	107691,95	107691,95	70,49	0
P.T	1	46800,08	46800,08	30,63	0
Resíduo	35	53474,51	1527,84		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	583,02	6,26	93,15	0
P	-27,69	7,98	-3,47	0,0014
T	66,99	7,98	8,40	0
P.T	-62,45	11,28	-5,53	0

P : Teor de proteína da matéria-prima (%).

T : Temperatura de extrusão ($^{\circ}C$).

A partir da estimativa dos coeficientes do modelo, pode-se exibir uma equação que descreva em 76% ($R^2 = 0,7638$) a resposta dos valores do IAA, de acordo às variáveis e aos intervalos de variação estudados, assim:

$$IAA = 583,02 - 27,69P + 66,99T - 62,45P.T$$

O erro padrão residual decorrente do ajuste do modelo é de 39,09 com 35 graus de liberdade (G.L.).

A figura 9 ilustra o efeito da temperatura de extrusão e o teor de proteína da matéria-prima no IAA, em macarrão de arroz.

Observa-se que o macarrão de arroz com teores de proteína abaixo de 20% apresenta aumento do IAA com o aumento da temperatura de extrusão, devido

provavelmente à abertura dos grânulos de amido pelo atrito mecânico, tornando-os desta maneira mais disponíveis para absorver água via aumento de grupos hidroxila. CHAUHAN & BAINS (1988) mostraram que numa mistura de arroz e leguminosas, o IAA aumentava proporcionalmente ao aumento da temperatura de extrusão. Por outro lado, quando o macarrão de arroz possui teores de proteína acima de 20%, o IAA diminui com o aumento da temperatura de extrusão. Observa-se também que abaixo de 90°C o IAA aumenta com o aumento do teor de proteína, devido provavelmente à participação da hidroflicidade das proteínas na resposta estudada.

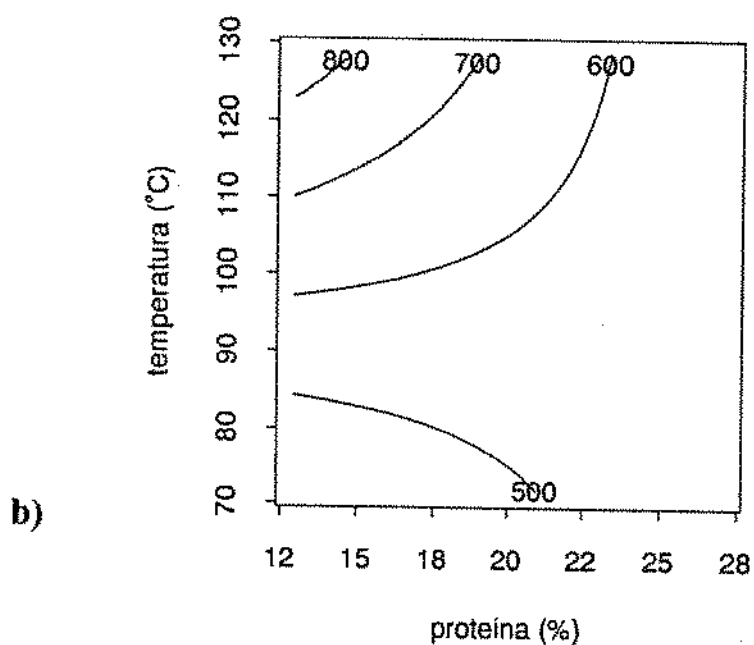
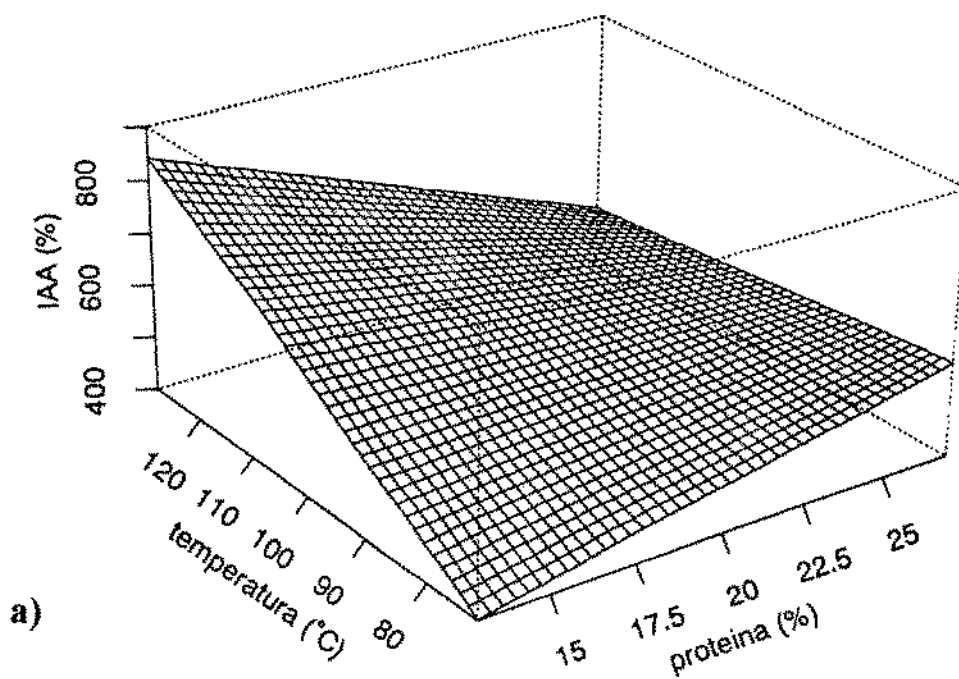


Figura 9: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no índice de absorção de água (IAA) em macarrão de arroz. a) figura tridimensional b) figura de contorno

4.2.2. Índice de Solubilidade em Água (ISA).

Os dados experimentais para o ISA de acordo às condições dos tratamentos, podem ser vistos na tabela 18.

A ANOVA e as estimativas dos coeficientes do modelo, são apresentados na tabela 19.

Tabela 18: Valores experimentais do Índice de Solubilidade em Água (ISA) com as variáveis do processo de extrusão.

Experimento	Variáveis de Extrusão		ISA (%)
	X ₁	X ₂	
1	15	80	7,1
2	25	80	9,2
3	15	120	8,0
4	25	120	13,1
5	20	100	8,2
6	20	100	6,7
7	20	100	9,5
8	20	100	8,0
9	20	100	8,2
10	20	128,3	10,5
11	20	71,7	8,6
12	27,1	100	12,4
13	12,9	100	6,6

X₁ : Teor de proteína da matéria-prima (%).

X₂ : Temperatura de extrusão (°C).

Tabela 19: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o Índice de Solubilidade em Água (ISA).

Fontes de variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	89,88	89,88	144,29	0
T	1	20,46	20,46	32,85	0
P ²	1	6,43	6,43	10,33	0,0029
T ²	1	9,45	9,45	15,17	0,0005
P.T.	1	6,65	6,65	10,68	0,0025
Resíduo	33	20,55	0,62		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	8,13	0,20	40,65	0
P	1,93	0,16	12,06	0
T	0,92	0,16	5,75	0
P ²	0,64	0,17	3,76	0,0029
T ²	0,67	0,17	3,94	0,0005
P.T	0,74	0,23	3,22	0,0025

P : Teor de proteína da matéria-prima (%).

T : Temperatura de extrusão (°C).

Com base na estimativa dos coeficientes do modelo, pode-se construir uma equação que descreva em 87% ($R^2 = 0,866$) a resposta dos valores de ISA e com um erro padrão residual de 0,79 com 33 G.L., indicando a magnitude do ajuste; de acordo às variáveis e aos intervalos de variação estudados, assim:

$$ISA = 8,13 + 1,93P + 0,92T + 0,64P^2 + 0,67T^2 + 0,74P.T$$

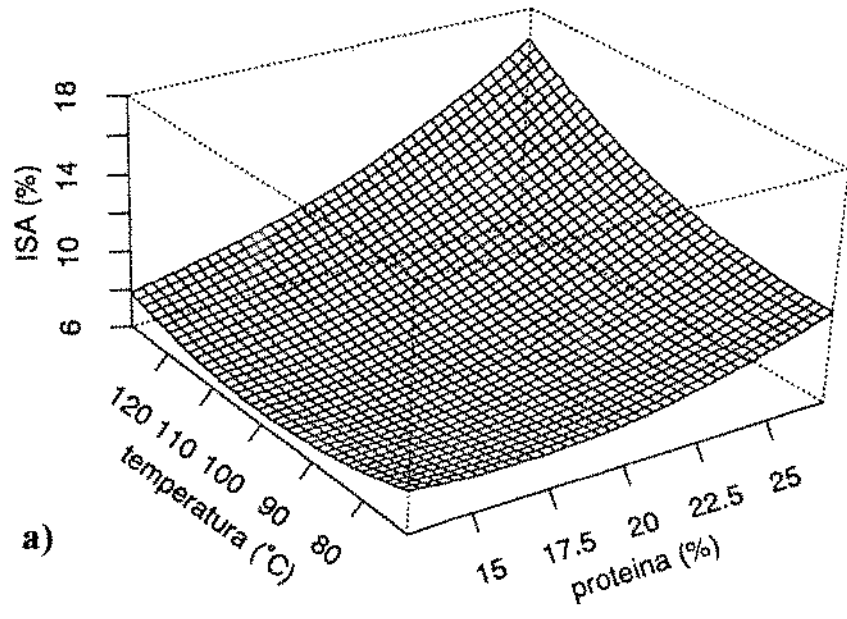
Através da equação acima e da tabela 19 de estimativa dos coeficientes, podemos observar que todos os termos da regressão foram incluídos, devido a sua alta significância, tanto em termos lineares, quadráticos e interativo.

Na figura 10 pode ser visualizado o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima no ISA, em macarrão de arroz.

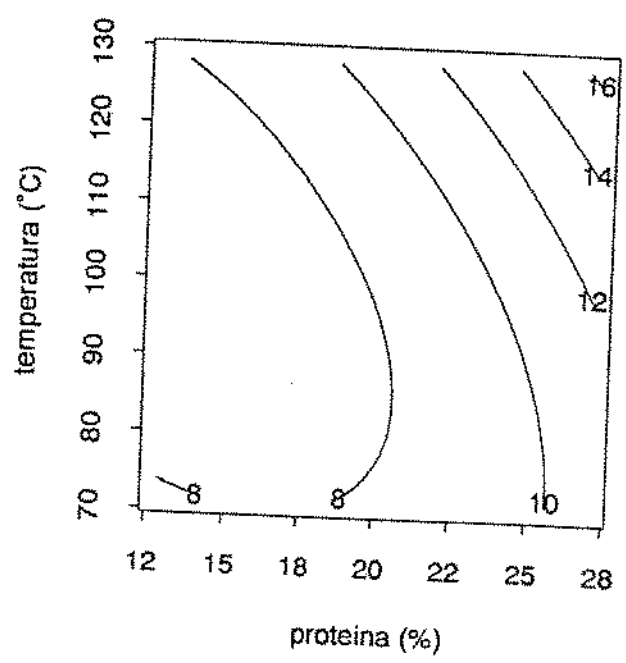
O ISA aumenta com o aumento da temperatura e do teor de proteína da matéria-prima, atingindo seu valor máximo em temperatura acima de 120°C e teor de proteína de 25%

MERCIER & FEILLET (1975) reportaram que com o aumento da temperatura de extrusão, obtinham o acréscimo dos carboidratos solúveis em água, sem a formação de oligossacarídeos.

Outros autores como LINKO et alii (1981), OWUSU-ANSAH et alii (1983) e CHAUHAN & BAINS (1981) reportaram que o ISA aumentava com o aumento da temperatura de extrusão.



a)



b)

Figura 10: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no índice de solubilidade em água (ISA) em macarrão de arroz.

a) figura tridimensional b) figura de contorno

4.2.3. Determinação de Cor

A cor do macarrão de arroz extrusado, suplementado com FSD foi medido através de três componentes L^* , a^* , b^* do sistema Hunter e corrigido pela *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), e o Índice de Amarelo (IA) da CIE.

Os valores lidos no Espectrofotômetro de Refletância Difusa dos componentes L^* , a^* , b^* e IA, do macarrão extrusado de arroz suplementado com FSD, estão apresentados na tabela 20.

Tabela 20: Valores experimentais da determinação de cor dos componentes L^* , a^* e b^* de Hunter e o índice de amarelo em macarrão de arroz.

Experimento	Variáveis de Extrusão		componentes			IA ^a
	x_1	x_2	L^*	a^*	b^*	
1	15	80	50,15	-1,30	5,80	18,51
2	25	80	53,79	-0,38	11,14	32,23
3	15	120	51,79	-1,33	7,33	22,50
4	25	120	59,23	-0,19	15,58	33,04
5	20	100	57,47	-0,56	13,66	30,31
6	20	100	59,08	-0,74	12,53	27,56
7	20	100	58,91	-1,93	10,33	23,44
8	20	100	59,78	-1,00	12,21	26,78
9	20	100	58,70	-0,70	12,75	28,14
10	20	128,3	58,86	-0,32	13,20	28,89
11	20	71,7	59,16	-1,85	9,53	21,80
12	27,1	100	61,16	-1,56	11,65	25,27
13	12,9	100	58,46	-2,28	6,58	15,95

x_1 : teor de proteína da matéria prima (%)

x_2 : temperatura de extrusão (°C)

a: Índice de amarelo

1. Componente L*

O componente L* está relacionado com a quantidade de luz que é refletida pela amostra, ou seja, quanto mais luz é refletida, maior será o valor de L* e vice-versa.

Pela tabela 20 pode-se observar que mais luz é refletida que absorvida, onde os valores variam de 50 a 61.

Através da ANOVA achou-se um modelo de regressão para o componente L* (brilho), em função das variáveis cuja relação é representada por:

$$L^* = 58,79 + 1,86P + 0,83T - 0,90P^2 - 1,30T^2 + 0,95P.T$$

Pela tabela 21 podemos observar que todos os termos da equação são significativos, porém a equação acima só descreve em 34% ($R^2=0,340$) a resposta dos valores do brilho, devido ao grande espalhamento dos pontos em torno da superfície; com um erro padrão residual de 2,87 e 111 G.L.

Tabela 21: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o componente L* (brilho)

Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	Pr(F)
P	1	249,9	249,9	30,28	0
T	1	49,81	49,81	6,03	0,015
P ²	1	34,62	34,62	4,19	0,042
T ²	1	106,8	106,8	12,95	0
P.T	1	32,49	32,49	3,94	0,049
Resíduo	111	916,1	8,25		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr(T > t)
Intercepto	58,79	0,43	137,27	0
P	1,86	0,34	5,50	0
T	0,83	0,34	2,46	0,015
P ²	-0,90	0,36	-2,50	0,013
T ²	-1,30	0,36	-3,60	0
P.T	0,95	0,48	1,98	0,049

P: teor de proteína da matéria prima (%)

T: temperatura de extrusão (°C)

Na figura 11 observa-se o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima no componente L*, em macarrão de arroz.

Observa-se na figura a tendência da resposta de L*, de apresentar maior brilho quando a temperatura de extrusão e o teor de proteína aumentam. Observa-se também, que a inclinação ou o efeito do teor de proteína em relação à temperatura de extrusão é maior.

Embora a figura se apresente como uma tendência do comportamento do brilho, por descrever unicamente 34% da resposta dos valores, a tabela 20 mostra valores experimentais maiores que L*, quando o teor de proteína é maior e o produto é processado à mesma temperatura. Este efeito experimental pode ser confirmado ao se observar a tabela 21 de análise de variância, onde a variável P possui maior significância que a variável T.

Este comportamento é devido provavelmente à formação de um filme de proteínas, que faz com que a luz seja refletida no momento de sua incidência no produto; e assim quanto maior a porcentagem de proteínas no produto, maior será a luz refletida, e desta maneira o valor de L*.

2. Componente a^*

Valores negativos para o componente a^* (verde) foram encontrados para as amostras de macarrão de arroz.

Os valores de a^* variaram de -0,19 a -2,28, conforme resultados apresentados na tabela 20.

Através da análise de variância achou-se um modelo de regressão para o componente a^* , em função das variáveis e dos intervalos de variação estudados, cuja relação é representada por:

$$a^* = -0,89 + 0,38P + 0,30T - 0,31P^2$$

onde as variáveis P, T e P^2 são significativas (tabela 22).

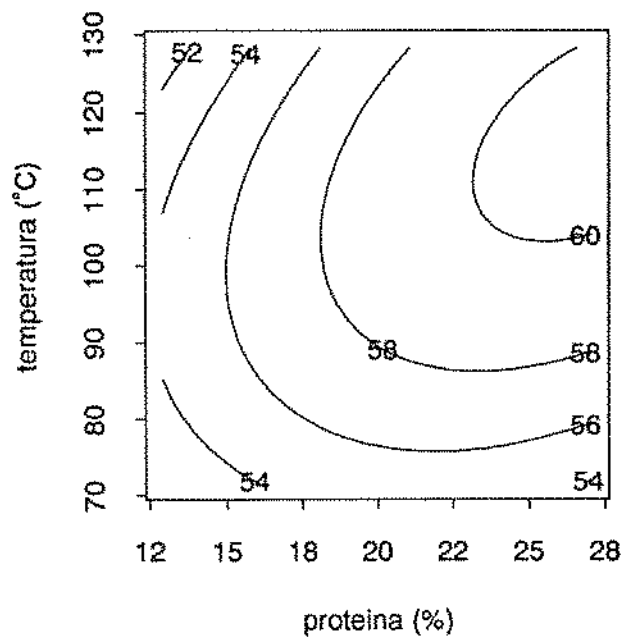
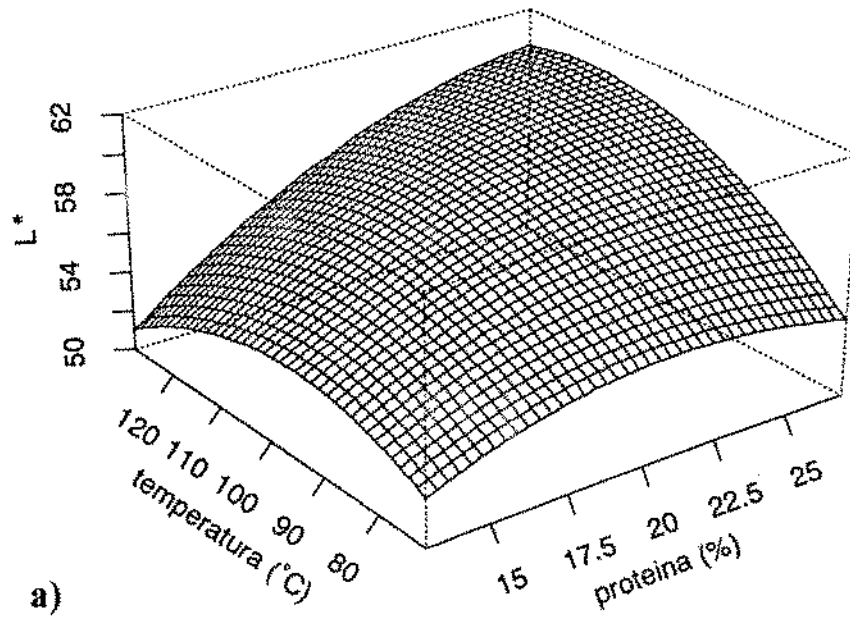


Figura 11: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no componente L^* , em macarrão de arroz.
a) figura tridimensional b) figura de contorno

A equação acima só descreve em 41% ($R^2=0,408$) a resposta do componente a^* , devido ao grande espalhamento dos pontos em torno da superfície, com um erro padrão residual de 0,543 e 113 G.L.

Tabela 22: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o componente a^*

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	10,62	10,62	35,92	0
T	1	6,43	6,43	21,41	0,005
P^2	1	6,13	6,13	20,73	0,005
Resíduo	113	33,41	0,29		

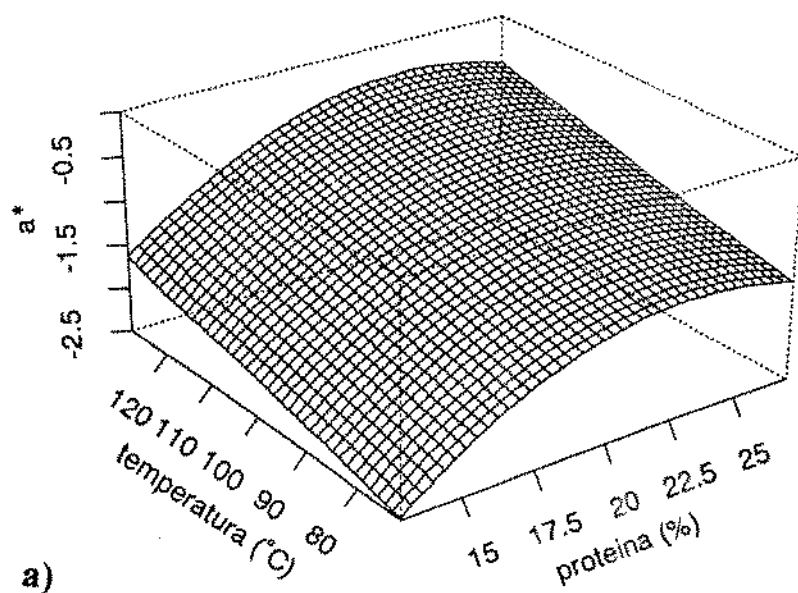
Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	-0,89	0,065	-13,67	0
P	0,38	0,064	5,99	0
T	0,30	0,064	4,63	0,005
P^2	-0,31	0,068	-4,55	0,005

P: teor de proteína da matéria prima (%)

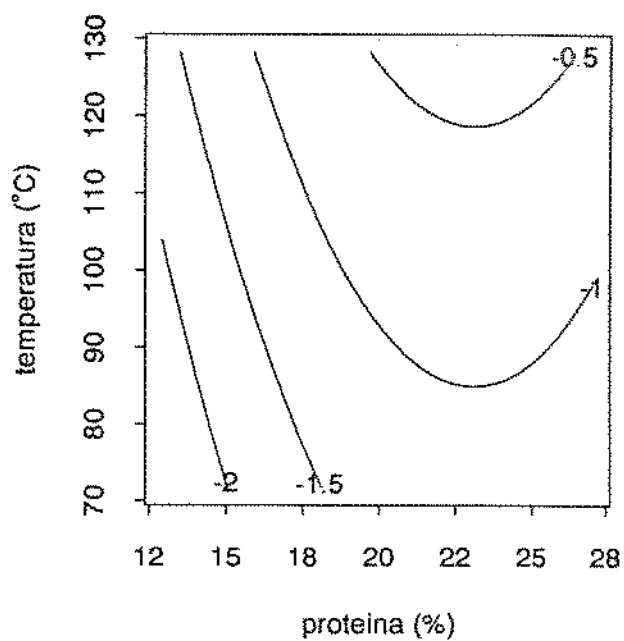
T: temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

Na figura 12 pode-se observar o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima no componente a^* , em macarrão de arroz.

Observa-se pela mesma figura que a tendência da resposta de a^* é de apresentar valores crescentes com o aumento da temperatura de extrusão e com o aumento do teor de proteína até aproximadamente 20%, onde atinge seu valor máximo; acima de 20% de proteína, o valor de a^* diminui. Embora exista uma tendência para a resposta dos valores de a^* , por descrever unicamente 41% do comportamento da mesma, a tabela 20 dos valores experimentais mostra dita tendência.



a)



b)

Figura 12: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no componente a^* , em macarrão de arroz.
a) figura tridimensional b) figura de contorno

3. Componente b*

O componente b* (amarelo) apresentou valores positivos que variam entre 5,80 e 15,58, conforme resultados apresentados na tabela 20.

Através da ANOVA achou-se um modelo de regressão para o componente b*, em função das variáveis e dos intervalos de variação estudados, cuja relação é representada por:

$$b^* = 12,29 + 2,59P + 1,39T - 1,66P^2 - 0,53T^2 + 0,73P.T$$

onde todas as variáveis são altamente significativas. (tabela 23)

Com base na estimativa dos coeficientes de regressão, a equação acima descreve em 80% ($R^2=0,795$) a resposta dos valores do componente b*, com um erro padrão residual de 1,378 e 111 G.L.

Tabela 23: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o componente b*

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	484,4	484,4	254,7	0
T	1	140,1	140,1	73,69	0
P ²	1	161,0	161,0	84,69	0
T ²	1	17,95	17,95	9,44	0,002
P.T	1	18,98	18,98	9,98	0,002
Resíduo	111	211,0	1,90		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	12,29	0,20	58,82	0
P	2,59	0,16	15,96	0
T	1,39	0,16	8,58	0
P ²	-1,66	0,17	-9,52	0
T ²	-0,53	0,17	-3,07	0,002
P.T	0,73	0,23	3,16	0,002

P: teor de proteína da matéria prima (%)

T: temperatura de extrusão (°C)

Através da figura 13 pode-se observar o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima no componente b^* , em macarrão de arroz.

Pela figura pode-se observar que o componente b^* apresenta valores crescentes de amarelo até 20% de proteína. A partir deste valor de proteína, o valor de b^* também aumenta com o aumento da temperatura de extrusão.

NIELSEN et alii (1980) adicionaram farinhas de leguminosas à farinha de trigo vermelho duro de primavera para a fabricação de spaghetti, e observaram que à medida que aumentava o teor de proteína do produto aumentava também o valor do componente b_{Hunter} (amarelo).

A figura 14 mostra as observações dos três componentes de cor do sistema Hunter, usados para determinar o brilho e a cor do macarrão de arroz. Observa-se uma correlação linear entre os componentes a^* e b^* , e nenhuma entre estes e o componente L^* .

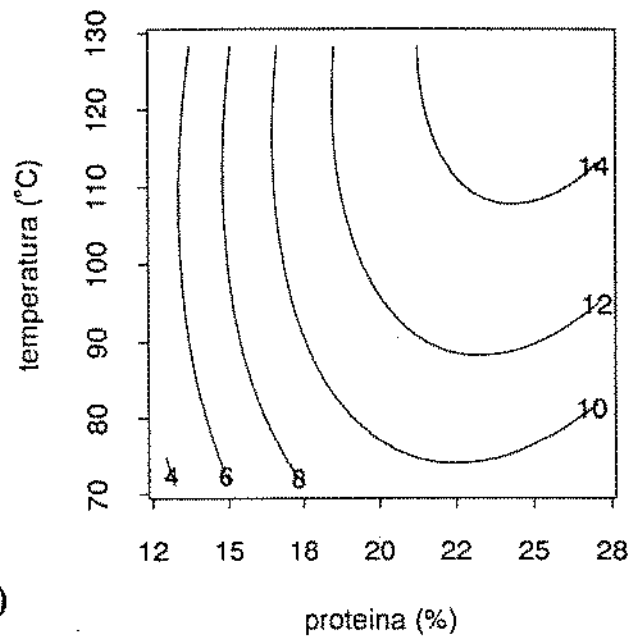
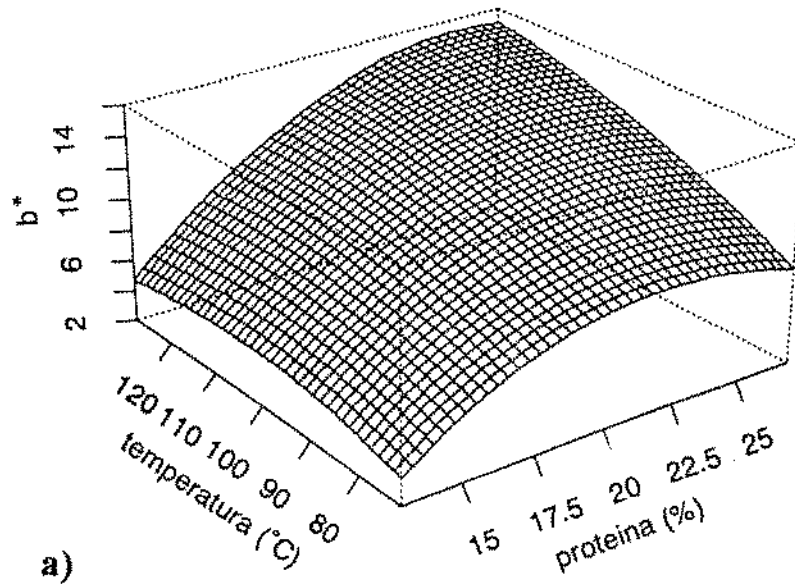


Figura 13: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no componente b^* , em macarrão de arroz.
 a) figura tridimensional b) figura de contorno

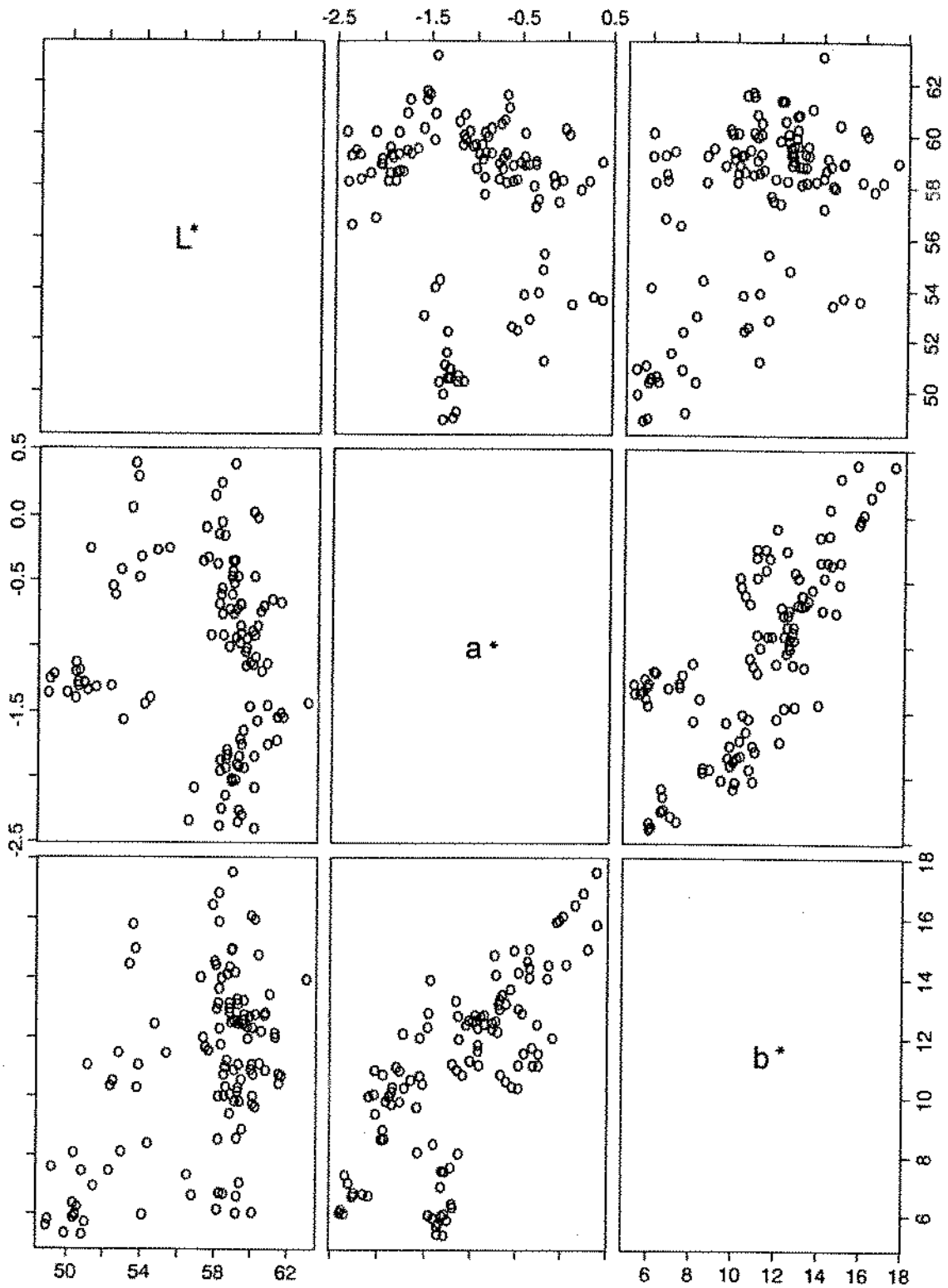


Figura 14: Correlação visual dos componentes de cor do sistema Hunter.

4. Índice de Amarelo (IA)

O índice de amarelo é uma relação cromática entre a refletância da cor azul e da cor verde, lidos num comprimento de onda entre 570 a 580 mm. Os valores do IA flutuam entre 15,95 e 33,05 conforme resultados apresentados na tabela 20.

Através da ANOVA achou-se um modelo de regressão com comportamento logarítmico para o IA, em função das variáveis e dos intervalos de variação estudados, cuja relação é representada pela seguinte equação:

$$\ln(\text{IA}) = 3,29 + 0,20P + 0,07T - 0,11P^2 - 0,04P.T$$

A partir da estimativa dos coeficientes de regressão, a equação acima descreve em 74% ($R^2=0,735$) a resposta dos valores do IA, com um erro padrão residual de 0,114 e 112 G.L.

A tabela 24 apresenta a análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o IA.

Tabela 24: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o Índice de Amarelo (IA)

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	2,85	2,85	212,6	0
T	1	0,41	0,41	30,87	0
P^2	1	0,84	0,84	63,04	0
P.T	1	0,06	0,06	4,59	0,034
Resíduo	112	1,50	0,01		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	3,29	0,013	236,30	0
P	0,20	0,013	14,58	0
T	0,07	0,013	5,56	0
P^2	-0,11	0,014	-7,94	0
P.T	-0,04	0,019	-2,14	0,034

P: teor de proteína da matéria prima (%)

T: temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

A figura 15 mostra o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima no IA, em macarrão de arroz. Pela mesma figura pode-se observar que o IA aumenta com o aumento da temperatura de extrusão e o teor de proteína da matéria-prima, atingindo seu valor máximo numa temperatura que varia de 110 a 120 $^{\circ}C$ e entre 20 a 25% de proteína.

LAIGNELET et alii (1976) adicionaram isolado protéico de soja à semolina de trigo durum para fabricação de spaghetti, e observaram um aumento do IA em relação ao spaghetti usado como controle.

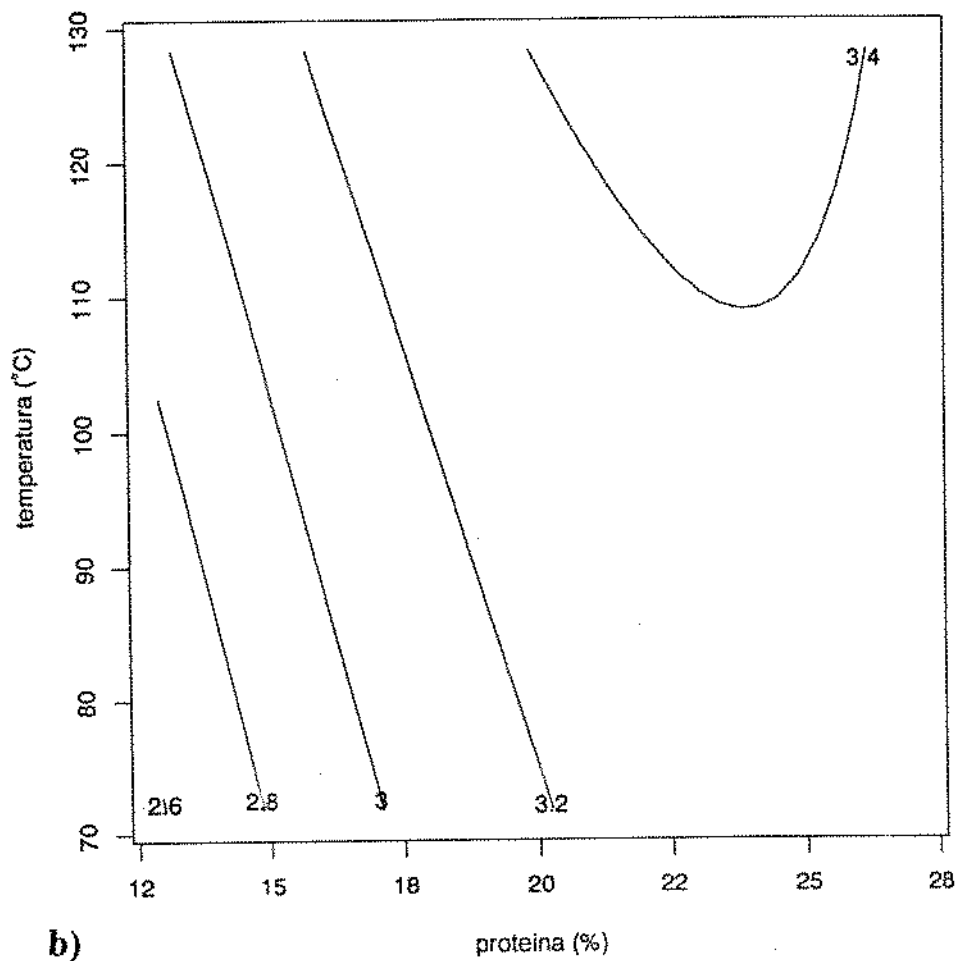
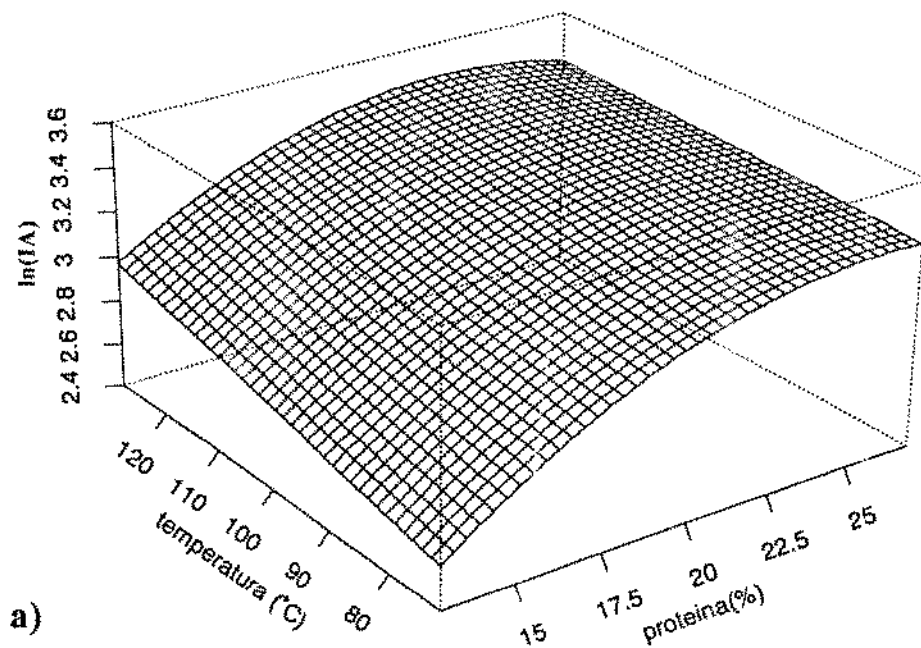


Figura 15: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no índice de amarelo (IA) em macarrão de arroz.
 a) figura tridimensional b) figura de contorno

4.2.4 Índice de Proteína Dispersível (IPD)

Os valores experimentais encontrados para o IPD podem ser observados na tabela 25.

Por meio de análise de variância dos dados experimentais do índice de proteína dispersível, ajustou-se um modelo de regressão em função das variáveis estudadas. O polinômio representativo desse modelo pode ser visto na equação abaixo:

$$\text{IPD} = 4,45 + 1,17P + 0,02T - 0,35P^2 - 0,28P.T$$

Pela ANOVA apresentada na tabela 26, o modelo de regressão ajustado à equação, descreve 48% ($R^2=0,482$) da resposta dos valores do IPD.

A ANOVA indicou que o teor de proteína da matéria-prima foi a variável de maior significância, seguida da proteína quadrada e da interação proteína.temperatura. A temperatura foi considerada não significativa para essa resposta dentro da região estudada, porém foi incluída no polinômio devido a significância na participação interativa com a proteína.

Tabela 25: Valores do Índice de Proteína Dispersível (IPD) em macarrão de arroz

Experimento	Variáveis de Extrusão		IPD (%)
	x_1	x_2	
1	15	80	3,26
2	25	80	4,63
3	15	120	2,59
4	25	120	5,09
5	20	100	4,46
6	20	100	4,33
7	20	100	4,95
8	20	100	4,25
9	20	100	4,23
10	20	128,3	4,80
11	20	71,7	4,52
12	27,1	100	6,39
13	12,9	100	2,65

x_1 : teor de proteína da matéria prima (%)

x_2 : temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

A figura 16 mostra o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima no IPD, em macarrão de arroz. Observa-se pela mesma figura que o IPD aumenta quando o teor de proteína aumenta.

Embora o modelo de regressão descreva em 48% a resposta dos valores do IPD, e a figura 16 possa aparecer como uma tendência do comportamento dos mesmos, a figura 6 do IPD da matéria-prima, corrobora com este comportamento crescente em relação ao aumento do teor de proteína.

Tabela 26: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o Índice de Proteína Dispersível (IPD)

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	3,29	3,29	15,31	0
T	1	0,01	0,01	0,05	0,816
P^2	1	2,54	2,54	11,86	0,001
P.T	1	0,94	0,94	4,41	0,043
Resíduo	34	7,30	0,21		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	4,45	0,10	46,05	0
P	1,17	0,09	12,38	0
T	0,02	0,09	0,23	0,816
P^2	-0,35	0,01	-3,44	0,001
P.T	0,28	0,13	2,10	0,043

P: teor de proteína da matéria prima (%)

T: temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

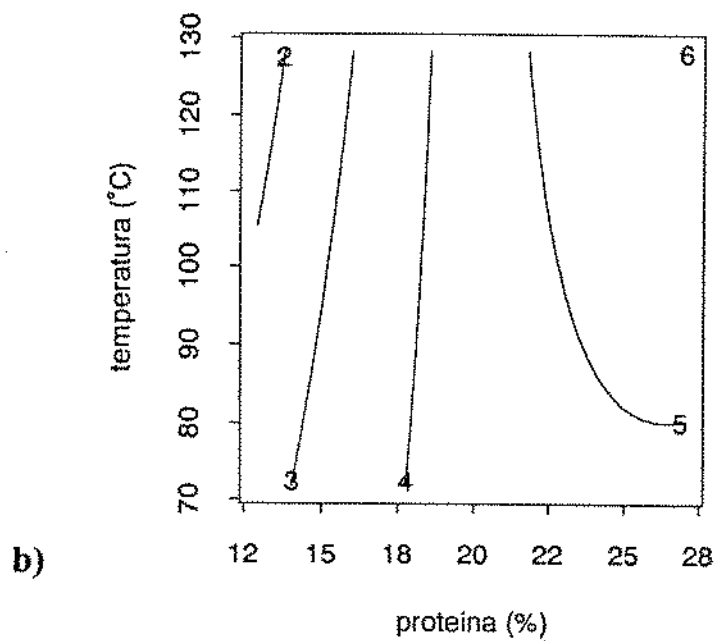
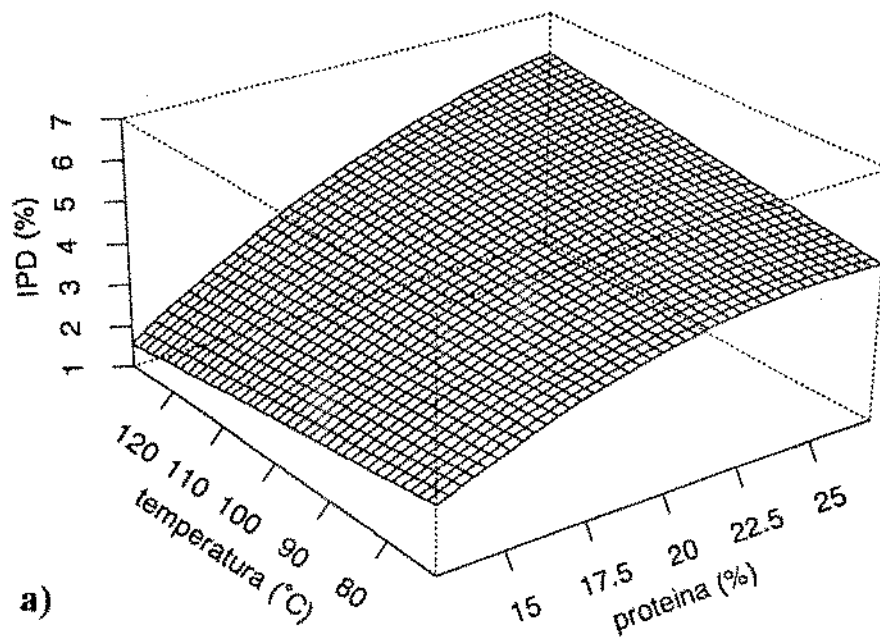


Figura 16: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, no índice de proteína dispersível (IPD) em macarrão de arroz. a) figura tridimensional b) figura de contorno

4.2.5. Atividade Ureática (AU)

Pela tabela 27 podem-se observar os valores da atividade ureática (AU), onde estes flutuam entre 0,05-0 Δ pH.

ALBRECHT et alii (1966) compararam a destruição do inibidor de tripsina com atividade ureática, e observaram que ambos eram prontamente destruídos pelo mesmo tratamento térmico.

MUSTAKAS et alii (1964) observaram na extrusão de farinha de soja integral que os valores de AU entre 0,05-0,02 Δ pH, a destruição do inibidor de tripsina era de 95,5%. Mais tarde, MUSTAKAS et alii (1970) na extrusão da mesma farinha de soja integral reportaram que, quando o AU tinha valores entre 0,10-0,05 Δ pH, a destruição do inibidor de tripsina era de 79-89% e quando AU era zero, a destruição era de 91-100%.

Pela tabela 15 pode-se observar que os valores de AU da matéria-prima estão entre 2,18-1,43 Δ pH e após a extrusão passaram para 0,05-0 Δ pH, manifestando desta maneira pelo exposto acima, uma provável destruição do inibidor de tripsina.

Através da análise de variância dos dados experimentais da atividade ureática, não foram observadas evidências de efeito significativo das variáveis, ao nível de 5%.

Tabela 27: Valores da atividade ureática (AU) do macarrão de arroz

Experimento	Variáveis de Extrusão		AU (Δ pH)
	x_1	x_2	
1	15	80	0,05
2	25	80	0,025
3	15	120	0,05
4	25	120	0,05
5	20	100	0,05
6	20	100	0,10
7	20	100	0,05
8	20	100	0
9	20	100	0,025
10	20	128,3	0,05
11	20	71,7	0,025
12	27,1	100	0
13	12,9	100	0,05

x_1 : teor de proteína da matéria prima (%)

x_2 : temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C)

4.2.6. Determinação de Textura

Os valores experimentais de textura podem ser vistos na tabela 28.

Tabela 28: Valores de textura do macarrão de arroz

Experimento	Variáveis de Extrusão		Textura (g)
	x_1	x_2	
1	15	80	2.710,8
2	25	80	780,4
3	15	120	3.276,2
4	25	120	1.036,7
5	20	100	1.962,5
6	20	100	1.798,5
7	20	100	1.449,8
8	20	100	1.558,2
9	20	100	1.820,4
10	20	128,3	1.234,3
11	20	71,7	1.062,6
12	27,1	100	576,8
13	12,9	100	3.227,5

x_1 : teor de proteína da matéria prima (%)

x_2 : temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C)

Através da ANOVA dos dados experimentais de textura, ajustou-se um modelo

de regressão em função das variáveis estudadas cuja relação é representada pelo seguinte polinômio:

$$\text{Tex} = 1721,8 - 1012,7P + 131,2T + 219,8P^2 - 186,7T^2$$

Pela tabela de análise de variância (tabela 29) observa-se que a variável P é a que possui maior significância, seguida de P^2 , T^2 e por último de T. Pela análise de variância e pela estimativa dos coeficientes de regressão apresentados na mesma tabela, o modelo de regressão ajustado ao polinômio, descreve em 87% ($R^2=0,866$) a resposta dos valores de textura do macarrão cozido, com um erro padrão residual de 348,0 e 63 G.L.

Tabela 29: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	44.956.912,8	44.956.912,8	371,3	0
T	1	706.905,0	706.905,0	5,8	0,0186
P^2	1	2.245.772,7	2.245.772,7	18,5	0,0001
T^2	1	1.242.660,8	1.242.660,8	10,3	0,0021
Resíduo	63	7.628.043,7	121.080,1		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	1.721,8	68,24	25,23	0
P	-1.012,7	53,22	-19,03	0
T	131,2	54,37	2,41	0,0187
P^2	219,8	57,19	3,84	0,0003
T^2	-186,7	58,29	-3,20	0,0021

P: teor de proteína da matéria prima (%)

T: temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

A figura 17 mostra o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima, na textura do macarrão cozido de arroz. A figura mostra o comportamento quadrático nas duas variáveis estudadas, sendo que uma é quadrática positiva (P) e a outra é negativa (T).

Pela figura 17 pode-se observar que os valores de textura aumentam quando o teor de proteína diminui.

Alguns autores como JEFFERS et alii (1979), NIELSEN et alii (1980), CHAUHAN

et alii (1988) e SIEGEL et alii (1975) observaram que ao se aumentar o teor de proteína em spaghetti suplementado com leguminosas, havia um decréscimo na textura do produto.

Ao contrário do que foi reportado nos trabalhos acima citados, outros autores como LAIGNELET et alii (1976), BAHNASSEY & KHAN (1986) e BREEN et alii (1977) observaram que ao se acrescentar proteínas de leguminosas ao spaghetti, a firmeza do mesmo aumentava em proporção direta à suplementação.

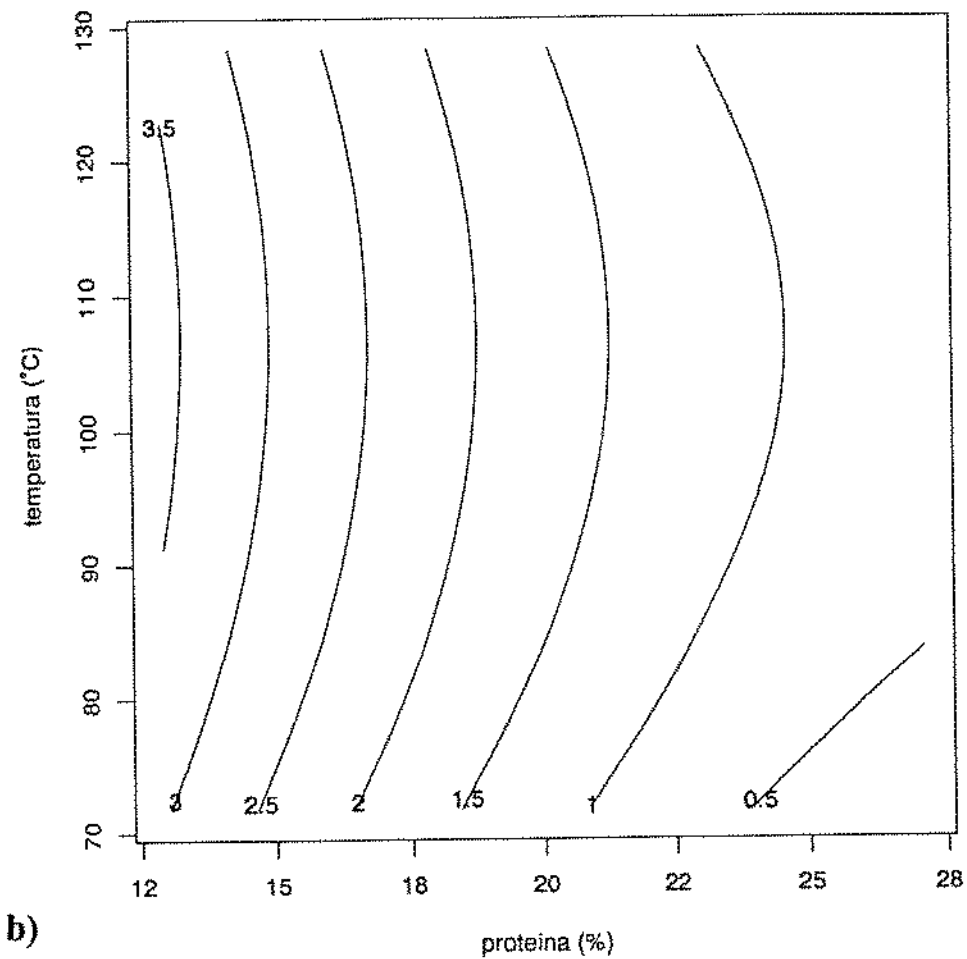
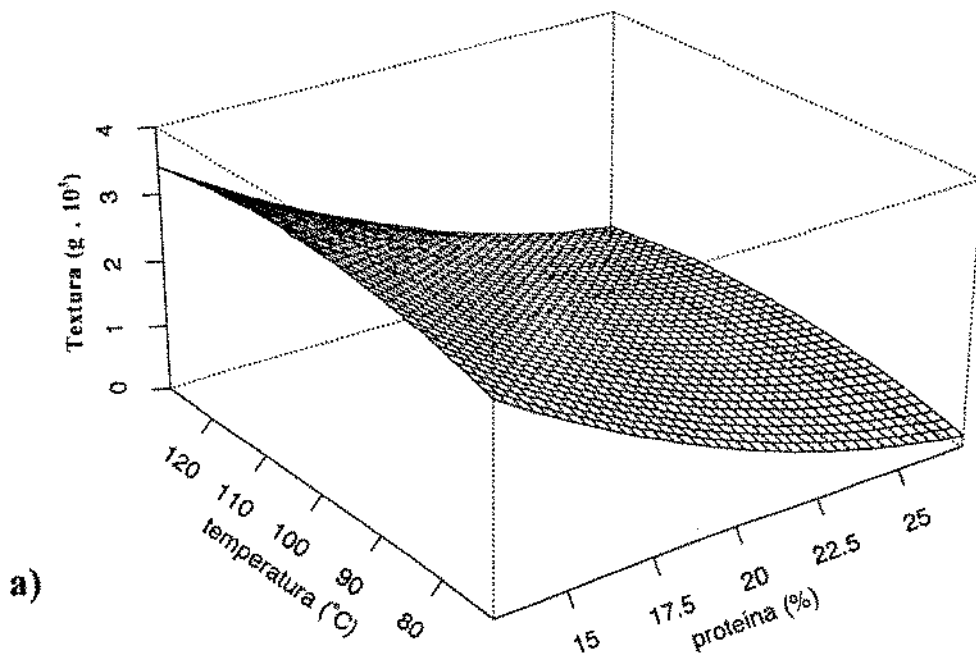


Figura 17: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, na textura do macarrão de arroz.

a) figura tridimensional b) figura de contorno

4.2.7. Determinação de Viscosidade

Os valores experimentais de viscosidade podem ser observados na tabela 30.

Tabela 30: Valores experimentais da viscosidade do macarrão de arroz

Experimento	Variáveis de Extrusão		V_{30} (UA)	V_{90} (UA)	V_{50} (UA)
	x_1	x_2			
1	15	80	50	140	260
2	25	80	30	85	170
3	15	120	150	70	80
4	25	120	80	40	60
5	20	100	100	80	140
6	20	100	60	110	190
7	20	100	60	60	130
8	20	100	80	80	160
9	20	100	60	70	130
10	20	128,3	160	30	60
11	20	71,7	60	80	190
12	27,1	100	80	40	65
13	12,9	100	160	140	190

x_1 : teor de proteína da matéria prima (%)

x_2 : temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

V_{30} : Viscosidade inicial a $30^{\circ}C$

V_{90} : Viscosidade a $90^{\circ}C$

V_{50} : Viscosidade máxima a $50^{\circ}C$

1. Viscosidade inicial a $30^{\circ}C$ (V_{30})

Os valores de V_{30} variaram de 30 a 160 UA, de acordo com a tabela 30.

Através da análise de variância dos dados experimentais da viscosidade inicial obtida a $30^{\circ}C$, ajustou-se um modelo de regressão, onde unicamente as variáveis lineares P e T são significativas.

A partir do modelo de regressão, representamos a equação que descreve em 70% ($R^2=0,702$) a resposta dos valores de V_{30} , com um erro padrão residual de 25,9 e 10 G.L.

$$V_{30} = 86,9 - 25,3P + 36,4T$$

A análise de variância e a estimativa dos coeficientes de regressão para V_{30} podem ser vistos na tabela 31.

Tabela 31: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a viscosidade inicial a $30^{\circ}C$

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	5158	5158	7,69	0,019
T	1	10615	10615	15,84	0,0026
Resíduo	10	6703	670,3		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	86,9	7,18	12,10	0
P	-25,3	9,15	-2,77	0,019
T	36,4	9,15	3,98	0,0026

P: teor de proteína da matéria prima (%)

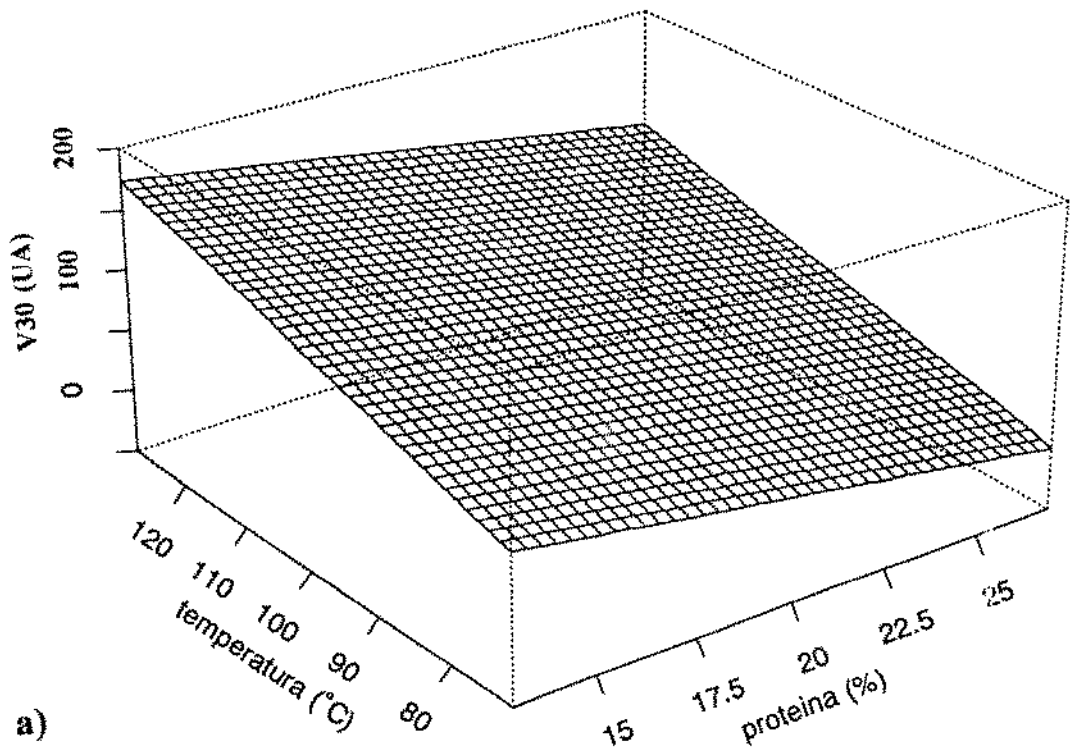
T: temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

A figura 18 mostra o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima, na viscosidade inicial a $30^{\circ}C$ do macarrão de arroz. Pode-se observar na figura, os efeitos lineares de ambas variáveis independentes.

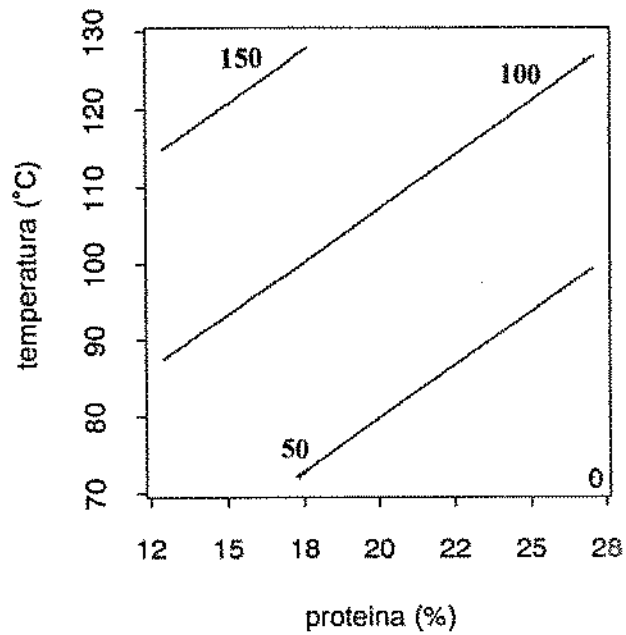
Pela figura 18 observa-se que o valor máximo da V_{30} é atingido a aproximadamente 170 UA, quando a temperatura de extrusão é maior que $120^{\circ}C$ e o teor de proteína menor que 15%. À medida que a temperatura de extrusão diminui e o teor de proteína aumenta, o V_{30} diminui para aproximadamente zero.

Alguns autores como ANDERSON et alii (1969), MERCIER (1980) e KUHN et alii (1989) reportaram que a viscosidade inicial de diversos cereais extrusados era mais elevada que a dos mesmos sem extrusar.

Os resultados da figura 18 se mostram coerentes com o que foi reportado acima, com a única diferença que ao se aumentar o teor de proteína do macarrão de arroz, diminui a porcentagem de amido e assim o valor de V_{30} .



a)



b)

Figura 18: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, na viscosidade inicial a 30°C (V₃₀) em macarrão de arroz. a) figura tridimensional b) figura de contorno

2. Viscosidade a 90°C (V_{90})

A viscosidade a 90°C é o valor da viscosidade ao se atingir a temperatura de 90°C no ciclo de aquecimento.

Os valores de V_{90} variaram de 30 a 140 UA, conforme mostra a tabela 30.

Através da análise de variância dos dados experimentais da viscosidade a 90°C, ajustou-se um modelo de regressão, onde somente as variáveis lineares P e T são significativas. A equação representada pelo modelo de regressão, descreve em 74% ($R^2=0,744$) a resposta dos valores de V_{90} , com um erro padrão residual de 19,2 e 10 G.L.

$$V_{90} = 78,8 - 28,3P - 23,2T$$

A tabela 32 mostra a análise de variância e a estimativa dos coeficientes de regressão para V_{90} .

Tabela 32: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a viscosidade a 90°C

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	6.408	6.408	17,37	0,0019
T	1	4.311	4.311	11,69	0,0066
Resíduo	10	3.688	368,8		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	78,8	5,33	14,80	0
P	-28,3	6,79	-4,17	0,0019
T	-23,2	6,79	-3,42	0,0066

P: teor de proteína da matéria prima (%)

T: temperatura de extrusão (°C)

A figura 19 mostra o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína

da matéria-prima, na viscosidade a $90^{\circ}C$ do macarrão de arroz. Observa-se pela figura 19 que a V_{90} diminui com o aumento da temperatura de extrusão e com o teor de proteína da matéria-prima.

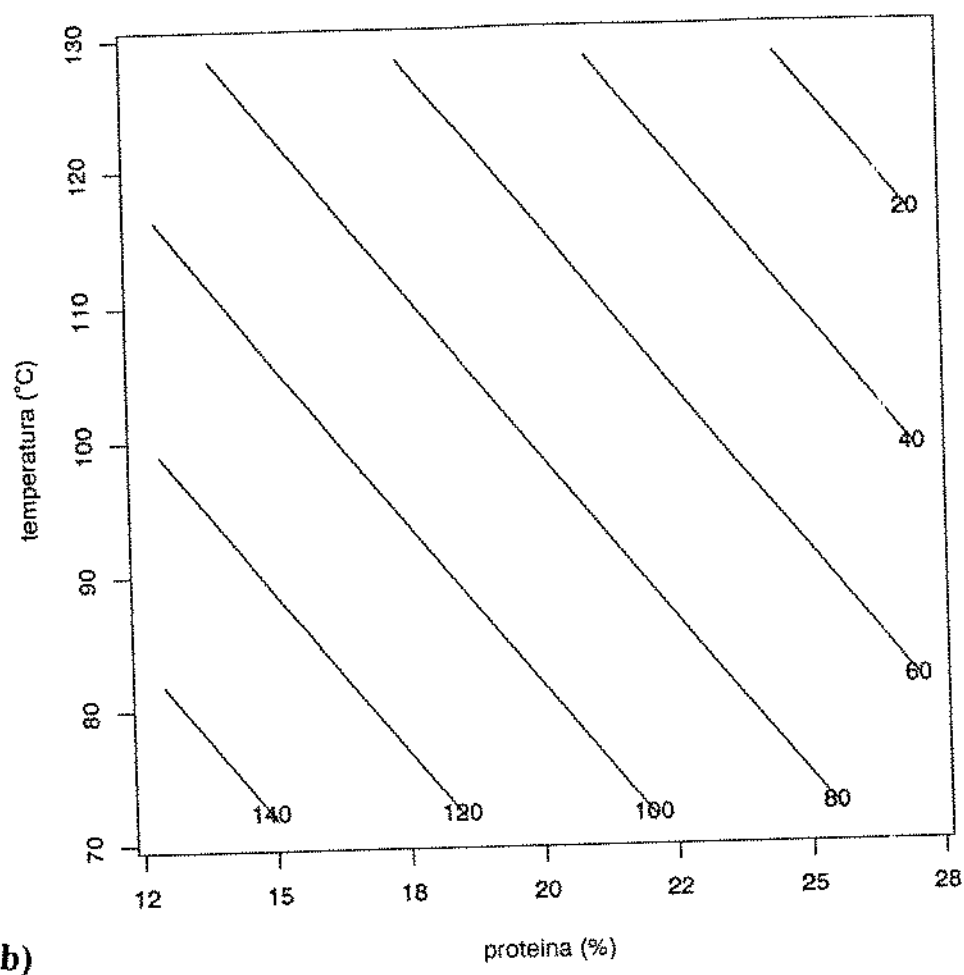
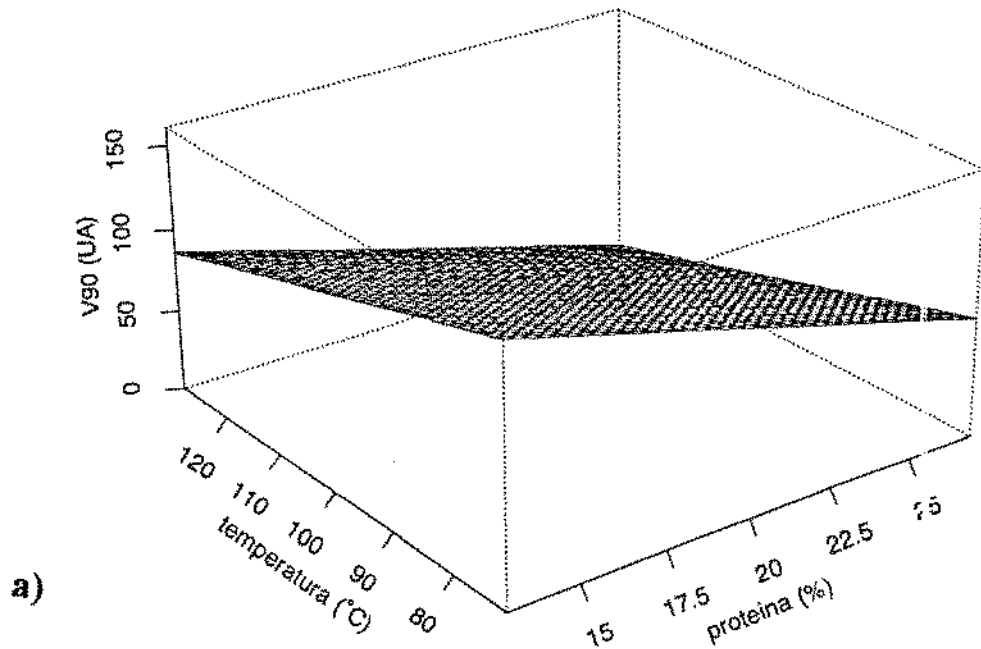


Figura 19: Efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima, na viscosidade a 90°C (V_{90}) em macarrão de arroz.

a) figura tridimensional b) figura de contorno

3. Viscosidade a 50°C (V_{50})

A viscosidade a 50°C é o valor da viscosidade ao se atingir a temperatura de 50°C no ciclo de resfriamento.

Os valores de V_{50} variaram de 60 a 260 UA, conforme mostra a tabela 30.

Através da ANOVA dos dados experimentais da viscosidade a 50°C, ajustou-se um modelo de regressão em função das variáveis estudadas, onde somente as variáveis lineares P e T são significativas. A equação representada pelo modelo de regressão, descreve em 84% ($R^2=0,844$) a resposta dos valores de V_{50} , com um erro padrão residual de 26,6 a 10 G.L.

$$V_{50} = 140,3 - 35,8P - 59,2T$$

A tabela 33 mostra a análise de variância e a estimativa dos coeficientes de regressão para V_{50} .

Tabela 33: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a viscosidade a 50°C no ciclo de resfriamento

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	10.280	10.280	14,52	0,003
T	1	28.066	28.066	39,66	0
Resíduo	10	7.076	707,6		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	140,3	7,38	19,03	0
P	-35,8	9,41	-3,81	0,003
T	-59,2	9,41	-6,30	0

P: teor de proteína da matéria prima (%)

T: temperatura de extrusão (°C)

A figura 20 mostra o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima, na viscosidade a $50^{\circ}C$ do macarrão de arroz. Pode-se observar na mesma figura, os efeitos lineares das variáveis independentes. Observa-se também que a V_{50} diminui quando o teor de proteína e a temperatura de extrusão aumentam, entretanto o maior efeito na diminuição de V_{50} foi provocado pela temperatura. O comportamento observado se apresentou semelhante ao de V_{90} .

ANDERSON et alii (1969a) reportaram que, na extrusão de "grits" de milho com 25% de umidade e temperaturas entre $107-204^{\circ}C$ obtiveram valores de V_{50} decrescentes à medida que a temperatura de extrusão era aumentada. Posteriormente ANDERSON et alii (1969b), mostraram resultados semelhantes aos da experiência com "grits" de milho, onde a V_{50} em "grits" de sorgo extrusado com umidade de 25% e temperaturas entre $110-128^{\circ}C$, era menor à medida que a temperatura de extrusão ia aumentando.

O efeito da diminuição dos valores de V_{50} com o aumento do teor de proteína, deve-se provavelmente à diminuição da concentração de amido na pasta.

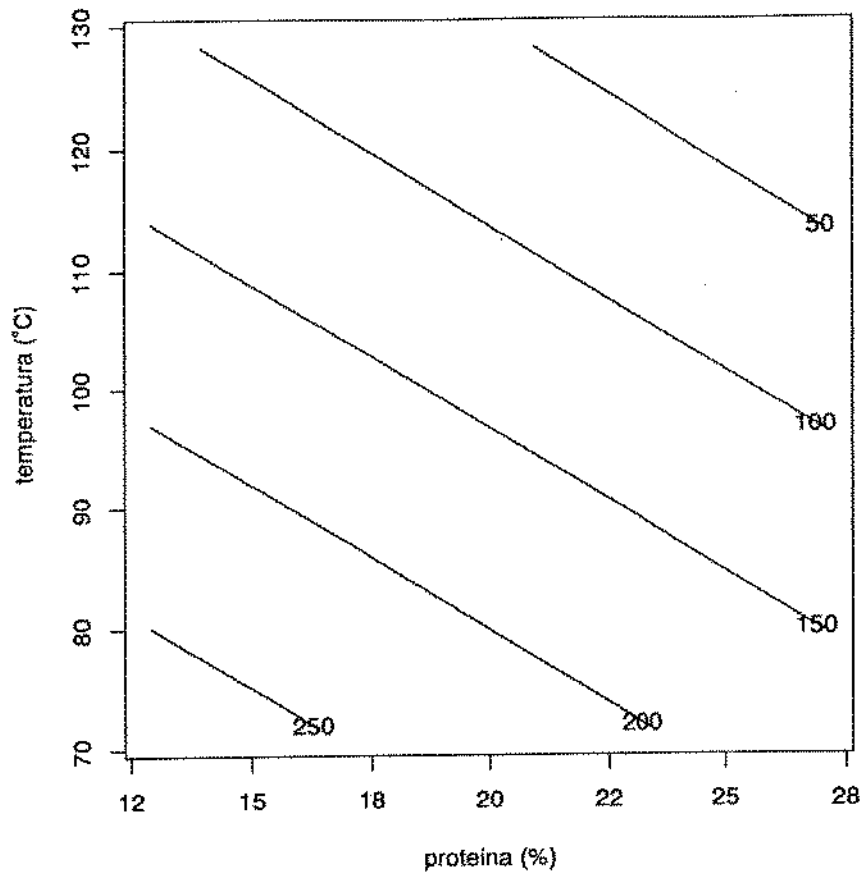
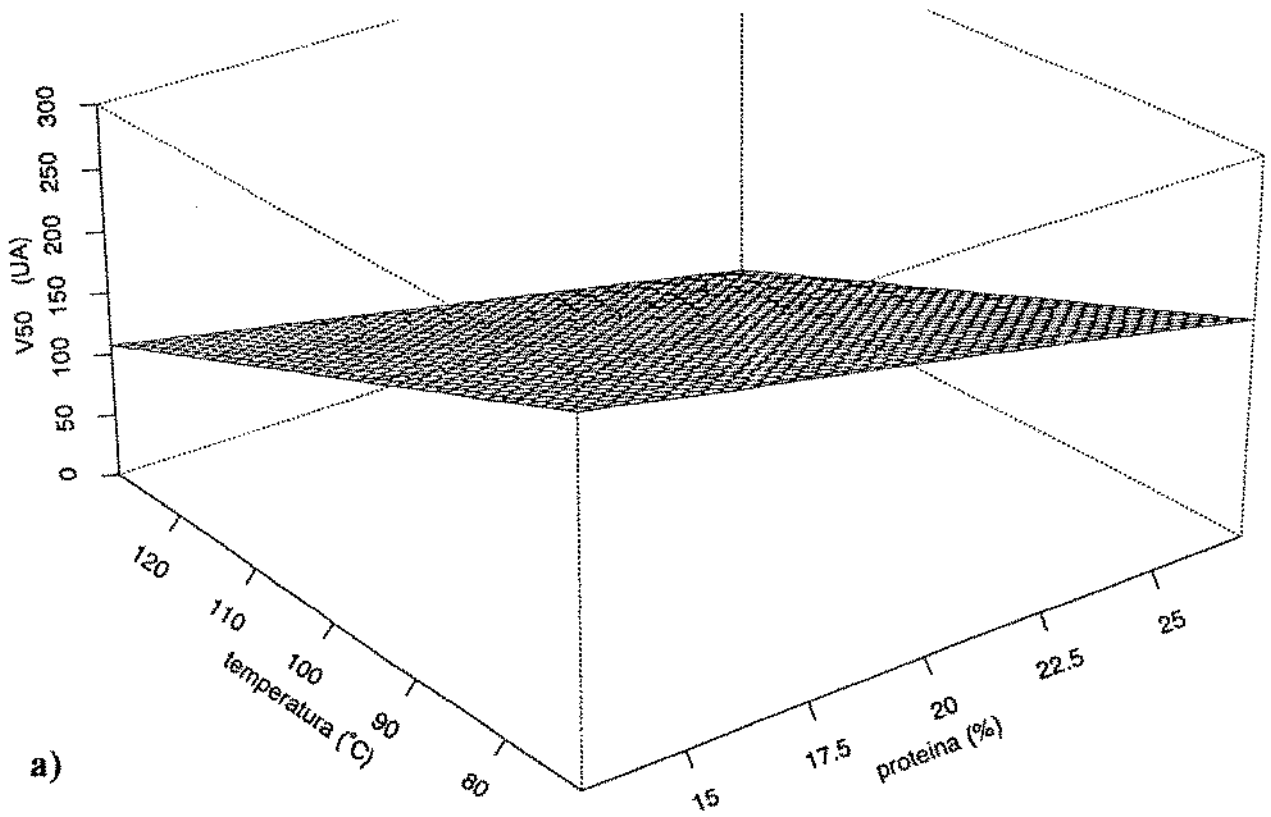


Figura 20: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, na viscosidade a 50°C no ciclo de resfriamento (V_{50}) em macarrão de arroz.

a) figura tridimensional b) figura de contorno

4.2.8. Teste de Cozimento

Os valores experimentais do teste de cozimento podem ser observados na tabela 34.

Tabela 34: Valores experimentais do teste de cozimento do macarrão de arroz

Experimento	Variáveis de Extrusão		ΔP (%)	ΔV (%)	SS (%)
	x_1	x_2			
1	15	80	142,5	196,3	3,05
2	25	80	174,4	243,5	6,67
3	15	120	142,3	199,1	3,34
4	25	120	160,3	235,2	7,45
5	20	100	154,2	225,9	5,14
6	20	100	150,5	206,5	4,53
7	20	100	129,6	182,4	4,13
8	20	100	161,6	239,8	5,18
9	20	100	138,8	202,8	4,03
10	20	128,3	156,4	230,6	7,15
11	20	71,7	156,2	219,5	5,45
12	27,1	100	166,1	245,4	7,94
13	12,9	100	135,8	186,1	2,03

x_1 : teor de proteína da matéria prima (%)

x_2 : temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

ΔP : aumento de peso

ΔV : aumento de volume

SS: perda de sólidos solúveis

1. Aumento de Peso (ΔP)

Os valores do aumento de peso variaram entre 129,6 e 174,4% de acordo com a tabela 34.

Através da ANOVA dos dados experimentais do aumento de peso, ajustou-se um modelo de regressão onde somente a variável P é significativa, descrevendo assim a equação de uma reta.

$$\Delta P = 151,9 + 11,6P$$

A equação representada pelo modelo de regressão, descreve em 42% ($R^2=0,4186$) a resposta dos valores de ΔP , com um erro padrão residual de 11,0 e 37 G.L. A tabela 35 mostra a análise de variância e a estimativa dos coeficientes de regressão para o aumento de peso.

Tabela 35: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o aumento de peso

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	3224,7	3224,7	26,6	0
Resíduo	37	4479,6	121,1		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	151,9	1,8	84,4	0
P	11,6	2,2	5,3	0

P: teor de proteína da matéria prima (%)

A figura 21 mostra o efeito do teor de proteína no aumento de peso do macarrão de arroz. Observa-se na figura 21, a tendência da resposta do aumento de peso (ΔP) em relação à única variável significativa (P), onde ΔP aumenta quando o teor de proteína aumenta. Embora a figura se apresente como uma tendência do aumento de peso, por descrever 42% do comportamento dos valores, a tabela 34 mostra valores experimentais de ΔP maiores, para maiores teores de proteína, independentes da temperatura de extrusão.

2. Aumento do Volume (ΔV)

Os valores do aumento de volume variaram entre 182,4 e 245,4%, de acordo com a tabela 34. Através da ANOVA dos dados experimentais do aumento de volume, ajustou-se um modelo de regressão onde somente a variável P é significativa, descrevendo assim a equação de uma reta.

$$\Delta V = 216,4 + 20,9P$$

A equação representada pelo modelo de regressão, descreve em 54% ($R^2=0,5363$) a resposta dos valores de ΔV , com um erro padrão residual de 15,65 e 37 G.L.

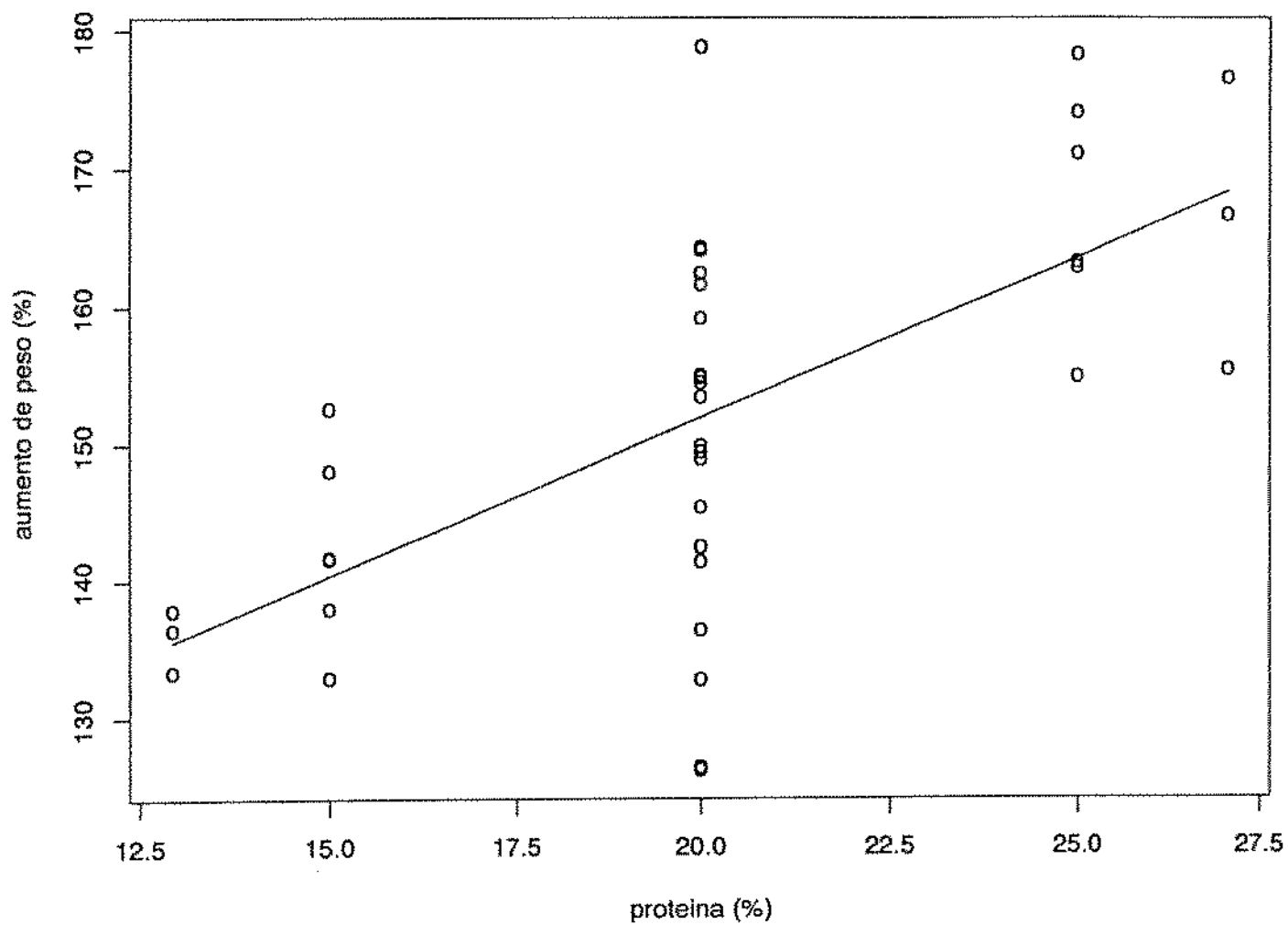


Figura 21: Efeito do teor de proteína da matéria-prima, no aumento de peso de macarrão de arroz.

A tabela 36 mostra a análise de variância e a estimativa dos coeficientes de regressão para o aumento de volume.

Tabela 36: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o aumento de volume

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Pr(F)
P	1	10475,7	10475,7	42,8	0
Resíduo	37	9058,1	244,8		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	216,4	2,5	86,6	0
P	20,9	3,2	6,5	0

P: teor de proteína da matéria prima (%)

A figura 22 mostra o efeito do teor de proteína no aumento de volume do macarrão de arroz. Observa-se na figura 22, a tendência da resposta do aumento de volume (ΔV) em relação à única variável significativa (P), onde a relação entre eles é diretamente proporcional, isto é, quando ΔV aumenta o teor de proteína também aumenta. Embora a figura se apresenta como uma tendência do aumento de volume, por descrever 54% da resposta dos valores, a tabela 34 mostra valores experimentais de ΔV maiores, para maiores teores de proteína, independentes da temperatura de extrusão.

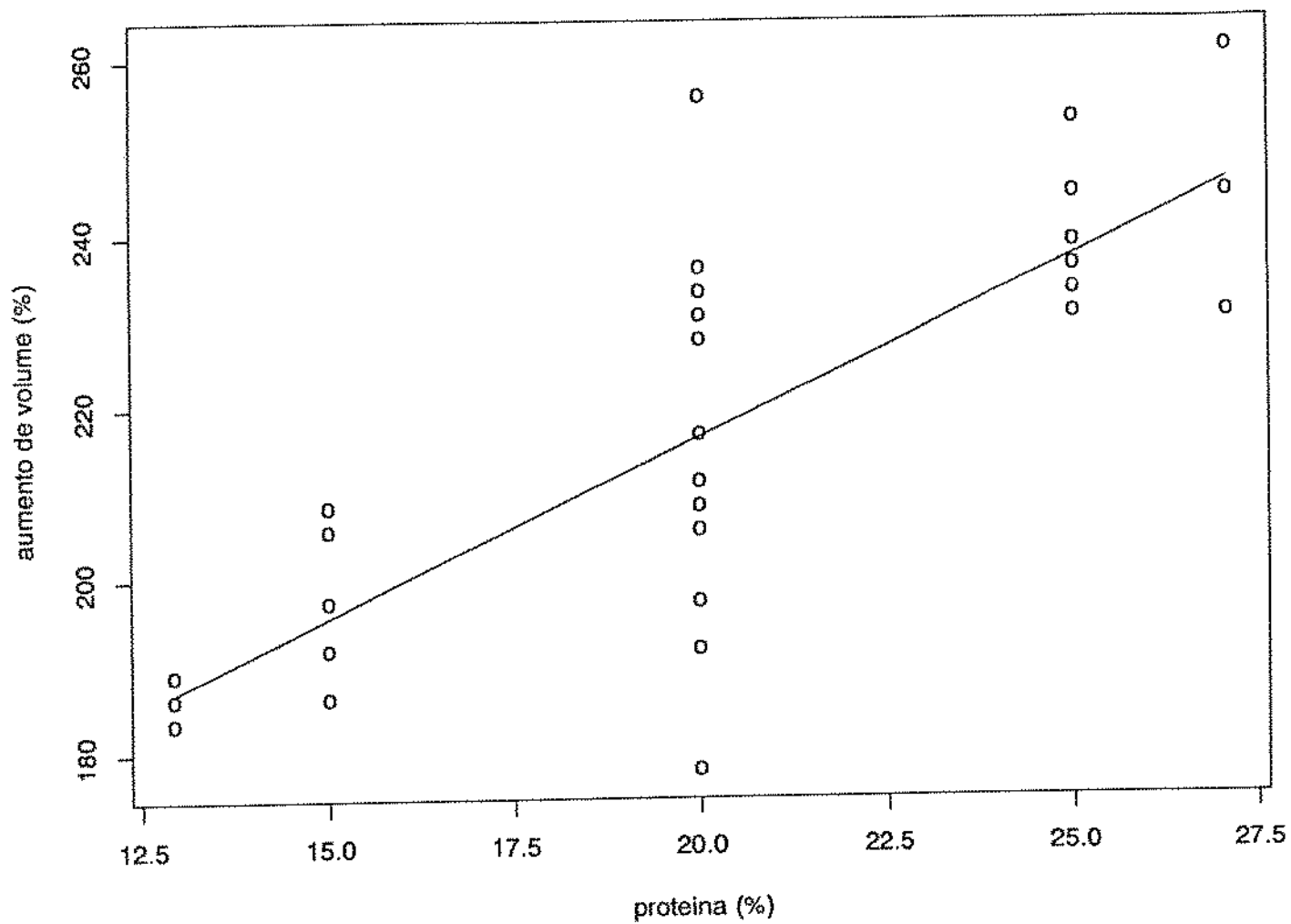


Figura 22: Efeito do teor de proteína da matéria-prima, no aumento do volume do macarrão de arroz.

3. Perda de Sólidos Solúveis (SS)

Os valores da perda de sólidos solúveis variaram de 2,03 a 7,94%, de acordo com a tabela 34. Através da ANOVA dos dados experimentais da perda de sólidos solúveis, ajustou-se um modelo de regressão em função das variáveis estudadas, cuja relação é representada pela seguinte equação:

$$SS = 4,67 + 2,01P + 0,33T + 0,59T^2$$

Pela análise de variância e pela estimativa dos coeficientes de regressão apresentados na tabela 37, o modelo de regressão ajustado à equação descreve em 91% ($R^2=0,9084$) a resposta dos valores da perda de sólidos solúveis do macarrão cozido, com um erro padrão residual de 0,54 e 74 G.L.

Tabela 37: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a perda de sólidos solúveis

Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	Pr(F)
P	1	194,31	194,31	665,12	0
T	1	5,20	5,20	17,80	0,0001
T^2	1	14,97	14,97	51,24	0
Resíduo	74	21,62	0,29		

Variáveis	Estimativas	Erro Padrão	t	Pr($\ T\ > t$)
Intercepto	4,67	0,08	58,63	0
P	2,01	0,08	25,79	0
T	0,33	0,08	4,22	0,0001
T^2	0,59	0,08	7,16	0

P: teor de proteína da matéria prima (%)

T: temperatura de extrusão ($^{\circ}C$)

A figura 23 mostra o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima, na perda dos sólidos solúveis do macarrão de arroz. Através da figura 23 pode-se observar que a perda de sólidos solúveis (SS) aumenta, ao se aumentar o teor de proteína da matéria-prima, mantendo-se

a temperatura de extrusão com um comportamento quadrático ao longo do intervalo estudado. Isto é, para uma dada concentração de proteína teremos um valor de SS com duas temperaturas de extrusão.

Tal observação está em concordância com LAIGNELET et alii (1976), BREEN et alii (1977) e BAHNASSEY & KHAN (1986), que reportaram que no cozimento de spaghetti de trigo suplementado com FSD e processado convencionalmente, observaram que ao se aumentar a porcentagem de proteína de soja no spaghetti, a perda de sólidos solúveis também aumentava.

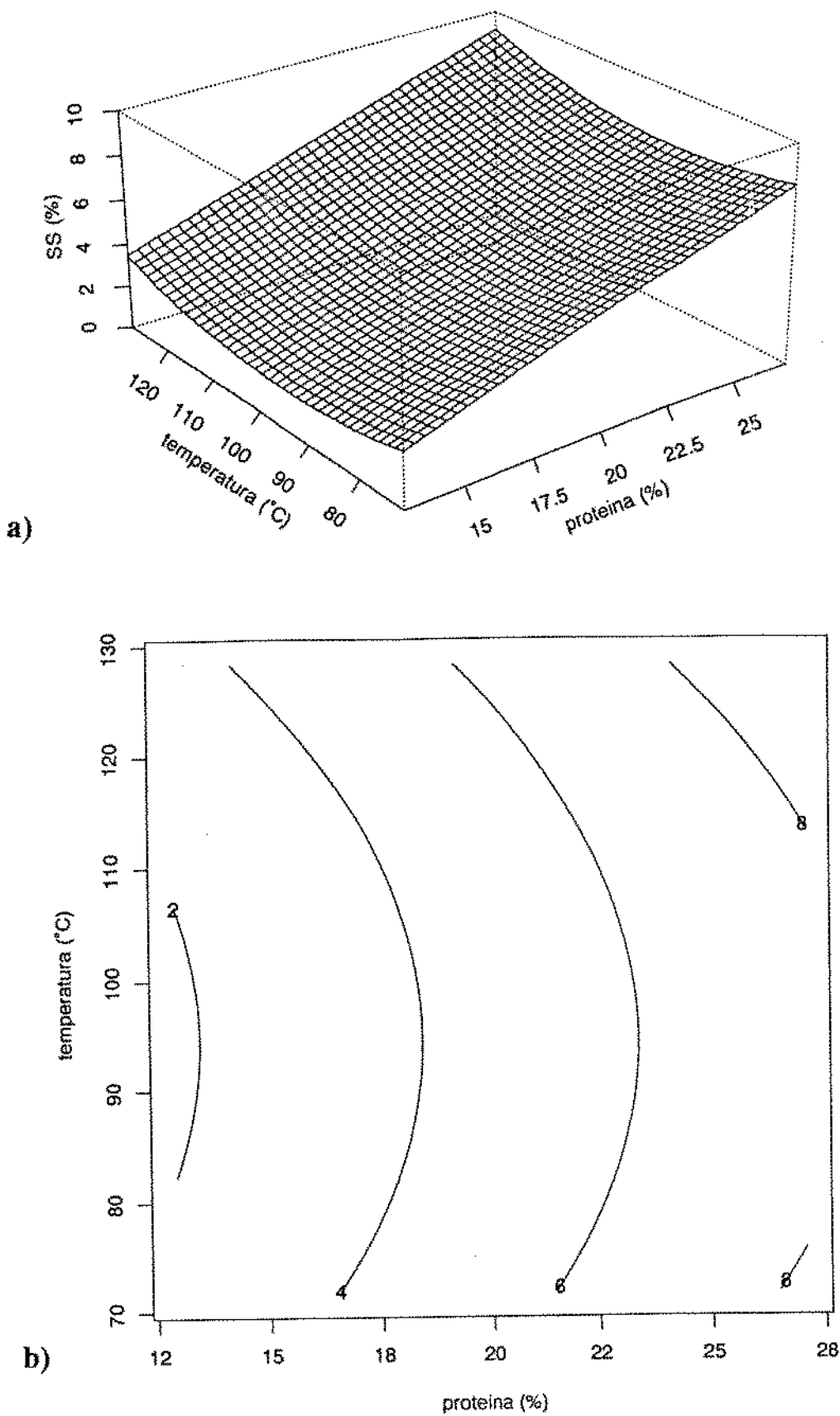


Figura 23: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, na perda de sólidos solúveis (SS) em macarrão de arroz. a) figura tridimensional b) figura de contorno

4.3. Efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da farinha de soja desengordurada na qualidade nutricional do macarrão de arroz.

Na tabela 38 podem ser observados os valores experimentais médios das análises nutricionais.

Tabela 38: Valores experimentais das análises nutricionais do macarrão de arroz

Experimento	Variáveis de Extrusão		PER	NPR	VBv (%)	Dv (%)	NPUv (%)
	x_1	x_2					
1	12,9	100	2,37	3,73	88,43	92,57	81,87
2	20	100	2,19	3,37	86,54	92,10	79,71
3	20	128,3	2,24	3,70	88,66	92,30	81,82
4	27,1	100	1,89	3,28	89,27	92,27	82,37
5 ^a	-	-	2,50	4,04	88,96	96,11	85,49

x_1 : Teor de proteína da matéria prima (%)

x_2 : Temperatura de extrusão (°C)

PER - Quociente de Eficiência Protéica (valor corrigido para 2,5)

NPR - Quociente Protéico Líquido

VBv - Valor Biológico Verdadeiro

Dv - Digestibilidade Verdadeira

NPUv - Utilização Líquida Verdadeira de Proteína

a - Dieta de caseína

Na tabela 39 podem ser observados os valores estimados dos contrastes ortogonais e seus respectivos intervalos de confiança.

Tabela 39: Valores das estimativas dos contrastes ortogonais estudados nas análises nutricionais, e seus respectivos intervalos de confiança

análises nutricionais	X ^a	intervalos de confiança*	contraste** ortogonal
PER	0,33	[0,19 ; 0,47]	1
	0,38	[0,20 ; 0,56]	3
NPR	0,48	[0,27 ; 0,69]	1
	0,33	[0,06 ; 0,60]	2
Dv	3,77	[2,98 ; 4,56]	1
NPU _v	3,99	[0,04 ; 7,94]	1

* Intervalo de confiança de 95%

** Significância ao nível de 5%

a - Valor da estimativa pontual do contraste e centro do intervalo de confiança

PER - Quociente de Eficiência Protéica

NPR - Quociente Protéico Líquido

Dv - Digestibilidade Verdadeira

NPU_v - Utilização Líquida Verdadeira de Proteína

Pela tabela 39 observa-se que para o PER houve diferença significativa no contraste ortogonal 1, isto é, entre a dieta de caseína e as dietas de macarrão de arroz fortificado com farinha de soja desengordurada (FSD), sendo esta diferença de 0,33. Apesar de nenhum nível de fortificação haver atingido o valor de PER da caseína, observou-se um melhoramento no valor de PER da mistura em relação aos seus componentes individuais, variando entre 1,9 e 2,4. O valor de PER do grão de arroz polido reportado por HSU et alii (1978) apud JULIANO (1985) foi de 1,62 e o valor de PER para a soja segundo LIENER (1972) variou entre 0,7 e 1,8.

Observa-se também para o PER a diferença significativa no contraste ortogonal 3, isto é, entre a dieta de macarrão processado com 12,9% de proteína e a dieta processada com 27,1% de proteína. Esta diferença mostra que o valor de PER para o macarrão com 12,9% de proteína (89% de farinha de arroz e 11% de FSD) resultou maior que o macarrão com 27,1% de proteína (54% de farinha de arroz e 46% de FSD), sendo esta diferença de 0,38. Pelo exposto acima, vemos que o melhor valor nutricional foi obtido com a dieta de macarrão com 12,9% de proteína, resultando assim num valor de PER significativamente mais alto, indicando que o maior valor de PER é obtido com um melhor balanço de aminoácidos e não com um maior teor de proteína. Em concordância com nosso resultado YAÑEZ et alii (1982) observaram que ao se suplementar farinha de trigo com FSD de zero a 12%, o maior valor de PER foi dado com 6% de FSD. Também SHEHATA et alii (1989) reportaram que ao se suplementar farinha de

trigo com proteína concentrada de soja aos níveis de 0,2,4,6 e 8% obtiveram o maior valor de PER com 6% de suplementação. Para o contraste ortogonal 2 na análise de PER, não houve diferença significativa ao nível de 5%, no que se refere ao efeito da temperatura de extrusão no valor de PER.

Para o NPR, houve diferença significativa nos contrastes ortogonais 1 e 2, ou seja na diferença da média da dieta de caseína e as médias das dietas de macarrão de arroz, e a diferença das dietas processadas a 100 e 128,3°C. O contraste ortogonal 3 não teve diferença significativa ao nível de 5%.

Para a digestibilidade verdadeira (Dv), só houve significância ao nível de 5% no contraste ortogonal 1, isto é, entre a média da dieta de caseína e as médias das dietas de macarrão de arroz. Isto mostra uma digestibilidade melhor para a dieta de caseína em relação as dietas com macarrão de arroz, provavelmente devido à formação de complexos entre amilose e ácidos graxos ou mesmo pela reação de Maillard durante o processo de extrusão, gerando assim uma baixa suscetibilidade às enzimas amilolíticas *in vivo*.

Assim como para o Dv, o NPUv também teve significância ao nível de 5% somente no contraste ortogonal 1. Isto quer dizer que, o quociente entre o nitrogênio retido e o nitrogênio ingerido é maior para a dieta com caseína do que a média das dietas de macarrão de arroz.

Para o VBv não houve diferença significativa ao nível de 5% em nenhum contraste ortogonal, isto é, o valor biológico verdadeiro não foi influenciado nem pelo teor de proteína ou pela temperatura de extrusão nos intervalos estudados, nem mesmo pela dieta com caseína.

Na figura 24 pode-se observar o efeito da temperatura de extrusão e do teor de proteína da matéria-prima para cada avaliação nutricional estudada. Observa-se para cada experimento, a amplitude dos dados obtidos para cada grupo de 6 ratos, a concentração dos dados nos blocos escuros e a mediana dos elementos da experiência.

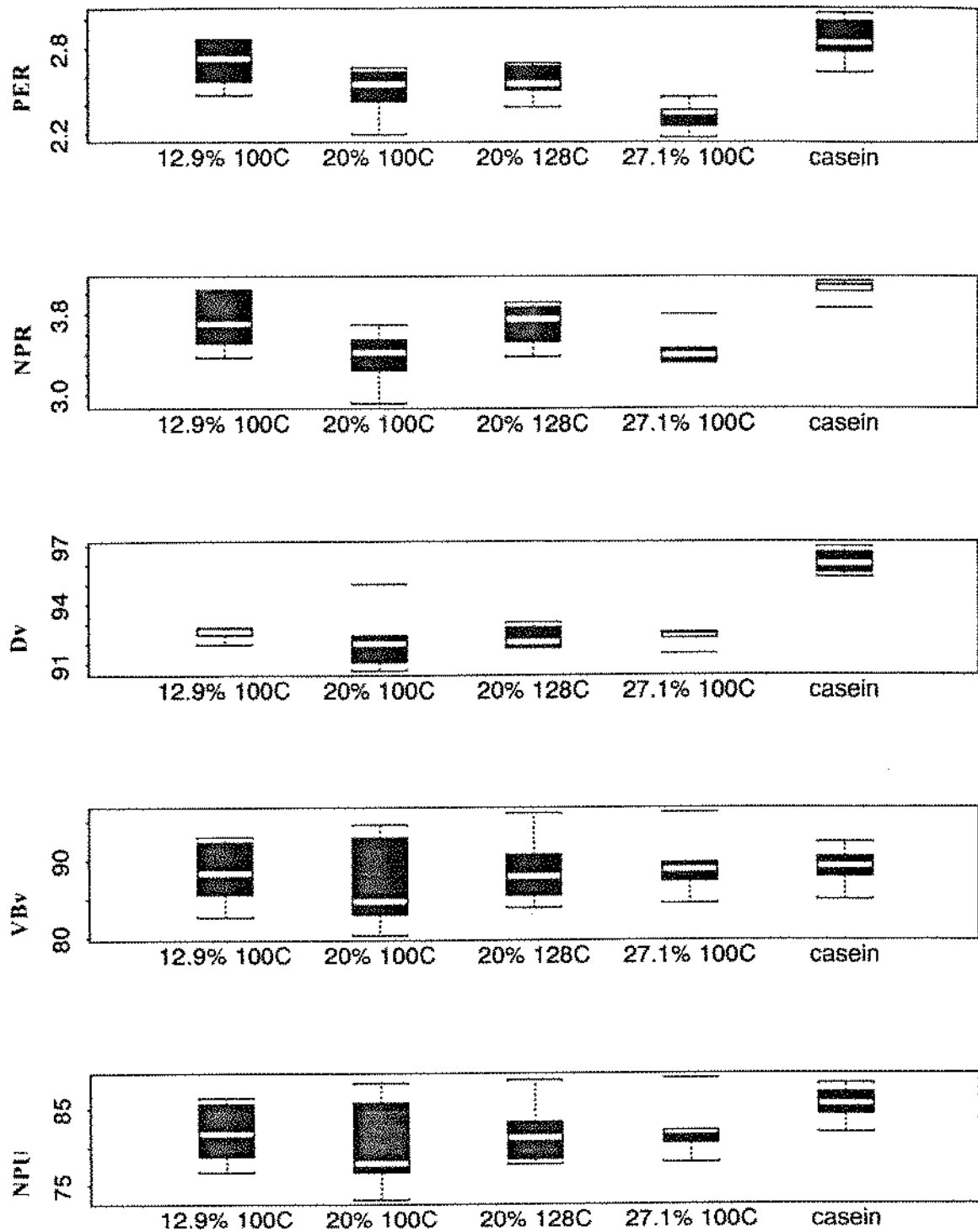


Figura 24: Efeito da temperatura de extrusão e teor de proteína da matéria-prima, para cada avaliação nutricional em macarrão de arroz.

5. Conclusões

Com o aumento da temperatura de extrusão verificou-se que índice de absorção (IAA), e de solubilidade em água (ISA) e a viscosidade inicial a 30°C (V_{30}) aumentavam, e a viscosidade a 90°C (V_{90}) e a capacidade de retrogradação diminuíram. O aumento da temperatura de extrusão influenciou também as características do macarrão cozido, tais como aumento do brilho e da cor amarela.

Ao se aumentar o teor de proteína verificou-se que o IAA até 20%, o ISA e o índice de proteína dispersível (IPD) aumentavam e V_{30} diminuía. Foi concluído também que com o aumento do teor de proteína do macarrão cozido, o seu brilho, sua cor amarela, seu volume, seu peso e a perda de sólidos solúveis aumentava, enquanto que a firmeza do macarrão diminuía.

O valor nutricional do macarrão também foi influenciado com a temperatura de extrusão e com o teor de proteína da FSD.

Com o aumento da temperatura de extrusão verificou-se aumento no valor quociente protéico líquido (NPR), e com o aumento do teor de proteína da matéria-prima verificou-se uma diminuição no valor do quociente de eficiência protéica (PER). O maior valor de PER foi atingido com a menor porcentagem de suplementação (12,9% de proteína), indicando o melhor balanço de aminoácidos.

Pelo exposto acima e pela análise das superfícies de resposta, concluiu-se que as melhores condições tecnológicas e nutricionais para o macarrão de arroz, foram obtidas a uma temperatura de aproximadamente 100°C e 20% de proteína.

6. Bibliografia

1. ADAIR, R. C. Production and Utilization of rice. In: HOUSTON, D. F. ed. *Rice, Chemistry and Technology*. St. Paul, AACC, 1972. V.IV, p. 1-15.
2. AGUILERA, J. M.; KOSIKOWSKI, F. V. & HOOD, L. F. Ultrastructural Changes Occurring during Thermoplastic Extrusion of Soybean Grits. *J. Food Sci.* 41(5):1209-13, 1976.
3. ALBRECHT, W. J.; MUSTAKAS, G. C. & MCGHEE, J. E. Rate Studies on Atmospheric Steaming and Immersion Cooking of Soybeans. *Cereal Chem.* 43(4):400-07,1966
4. ALLISON, J. B. The nutritive value of dietary proteins In: MUNRO, H. N. & ALLISON, J. B. ed. *Mammalian protein metabolism*. New York, Academic Press, 1964. V. 2, p.45.
5. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods. 8. ed. St. Paul, AACC, 1983.
6. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis. Arlington, AOAC, 1984
7. AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY. Official and Tentative Methods, 3. ed. Chicago, AOCS, 1977.
8. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Method of Test for Indexes of Whiteness and Yellowness of near-white, opaque materials. E313-73. In: ASTM. *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia, 1975. V.46
9. ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F. & GRIFFIN JR., E. L. Gelatinization of Corn Grits by Roll and Extrusion Cooking. *Cereal*

Sci. Today 14(1):4-7, 11-12, 1969a.

10. ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F. & GRIFFIN JR., E. L. Roll and Extrusion-Cooking of Grain Sorghum Grits. *Cereal Sci. Today* 14(11):372-81,1969b
11. ANTOGNELLI, C. The Manufacture and Applications of Pasta as a Food and as a Food Ingredient: A Review. *J. Food Tech.* 15(2):125-145, 1980.
12. ASP, N. G. & BJÖRCK, I. Effects of Extrusion Cooking on the Nutritional Value. In: JOWITT RONALD ed. *Development in Food Science. Progress in Cereal Chemistry and Technology; Proceedings 7th World Cereal and Bread Congress.* Prague, Elsevier Sci. Publishing , 1982. p. 921-926
13. ASP, N. G. & BJÖRCK, I. Nutritional Properties of Extruded Foods In: MERCIER, C.; LINKO, P. & HARPER, J. M. eds. *Extrusion Cooking.* St. Paul, AACC, 1989. p. 399-434
14. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis, 14. ed. Arlington, AOAC, 1984.
15. BAHNASSEY, Y.;KHAN, K. & HARROLD, R. Fortification of Spaghetti with edible legumes. I. Physicochemical, Antinutritional, Amino Acid and Mineral Composition. *Cereal Chem.* 63(3): 210-215, 1986.
16. BAHNASSEY, Y. & KHAN, K. Fortification of Spaghetti with edible legumes. II. Rheological, Processing and Quality Evaluation Studies. *Cereal Chem.* 63(3): 216-19, 1986.
17. BAKAR, J. & HIN, Y. S. High-protein rice-soya breakfast cereal. *J. Food Proces. and Preserv.* 8(3/4): 163-74, 1985.

18. BARONI, D. Manufacture of Pasta Products In: FABRIANI & LINTAS eds. *Durum wheat: Chemistry and Technology*. St. Paul, AACC, 1988. p. 191-216
19. BEAUFRAND, M. J.; DE LA GUÉRIVIÈRE, J. F; MONNIER, C. & POUILLAIN, B. Influence du Procédé de Cuisson Extrusion sur la disponibilité des protéines. *Ann. Nutr. Alim.* 32(2/3): 353-64, 1978.
20. BENDER, A. E. & MILLER, D. S. A New Brief Method of estimating Net Protein Value. *Biochem. J.* 53:7, 1953.
21. BENDER, A. E. & DOELL, B. H. Biological Evaluation of Proteins: a new aspect. *British J. Nutrition.* 11:140, 1957.
22. BHATTACHARYA, M. & HANNA, M. A. Kinetics of Starch Gelatinization during Extrusion Cooking. *J. Food Sci.* 52(3): 764-66, 1987.
23. BJÖRCK, I. & ASP, N. G. The Effects of Extrusion cooking on Nutritional Value - A Literature Review. In: JOWITT RONALD ed. *Extrusion Cooking Technology*. Elsevier Applied Sci. Pub., 1983.
24. BJÖRCK, I.; ASP, N. G. & DAHLQVIST, A. Protein Nutritional Value of Extrusion - Cooked wheat flours. *Food Chem.* 15(3): 203-14, 1984a.
25. BJÖRCK, I.; ASP, N. G.; BIRKHED, 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. *J. Cereal Sci.* 2(2): 91-103, 1984b.
26. BLANCO, A.; DE PACE, C.; PORCEDDU, E. & SCARASCIA MUGNOZZA, G.T. Genetics and Breeding of durum wheat in Europe. In: FABRIANI, G. & LINTAS, C. eds. *Durum wheat: Chemistry and Technology*. St. Paul, AACC, 1988. p. 17-45.

27. BOX, G. P.; HUNTER, W. G. & HUNTER, J. S. *Statistics for Experimenters. An Introduction to design analysis and Model Building.* New York, J. Wiley & Sons, 1978.
28. BOX, G. P. & DRAPER, N. R. *Empirical Model-building and Response Surfaces.* New York, J. Wiley & Sons. 1987. 669p.
29. BOZZINI, A. Origin, Distribution and Production of durum wheat in the World. In: FABRIANI, G. & LINTAS eds. *Durum wheat: Chemistry and Technology.* St. Paul, AACC, 1988. p. 1-16.
30. BRAUNER, J. L. Acidez do solo e seu controle. In: FUNDAÇÃO CARGILL. *Trigo no Brasil.* Campinas, 1982. p. 201-287.
31. BREEN, M. D.; BANASIK, O. J. & WALSH, D. E. Use of Various Protein Sources in Pasta. *Macaroni J.* 58(9): 26-32, 1977.
32. BRESSANI, R.; ELÍAS, G. & JULIANO, B. O. Evaluation of the Protein Quality of milled rices differing in Protein Content. *J. Agr. Food Chem.* 19(5): 1028-34, 1971.
33. BRESSANI, R.; BRAHAM, J. E.; ELÍAS, L. G.; CUEVAS, R. & MOLINA, M. R. Protein Quality of a whole Corn - whole Soybean Mixture Processed by a simple Extrusion Cooker. *J. Food Sci.* 43(5): 1563-65, 1978.
34. CAGAMPANG, G. B.; CRUZ, L. J.; ESPIRITU, S. G.; SANTIAGO, R. G. & JULIANO, B. O. Studies on the Extraction and Composition of Rice Protein. *Cereal Chem.* 43(2): 145-155, 1966.
35. CHAUHAN, G. S. & BAINS, G. S. Effect of some Extruder variables on Physico-chemical Properties of Extruded Rice-legumes blends. *Food Chem.* 27(3): 213-24, 1988.

36. CHAUHAN, G. S.; VERMA, N. S. & BAINS, G. S. Effect of Extrusion Processing on the Nutritional Quality of Protein in Rice-legume blends. *Die Nahrung*. 32(1): 43-47, 1988.
37. CHEFTEL, J. C. Nutritional Effects of Extrusion Cooking. *Food Chem.* 20(4): 263-83, 1986.
38. CHERYAN, M.; Mc CUNE, T. D.; NELSON, A. I. & FERRIER, L. K. Preparation and Properties of soy-fortified Cereal weaning foods. *Cereal Chem.* 56(6): 548-51, 1979.
39. CHIANG, B. Y. & JOHNSON, J. A. Gelatinisation of starch in extruded products. *Cereal Chem.* 54(3): 436-43, 1977.
40. CIACCO, C. F. & CHANG, Y. K. *Tecnologia de massas alimentícias. Tecnologia Agroindustrial.* Campinas, Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1982. 187p.
41. CLARK, J. P. Texturization by extrusion. *J. Text. Studies* 9(1/2) : 109-23, 1978.
42. COCHRAN, W. G. & COX, G. M. *Experimental designs.* New York, J.Wiley & Sons, 1957. 611p.
43. COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; DE MONTREDON, F. & MERCIER, C. Extrusion - Cooking and Drumdrying of wheat starch. I. Physical and Macromolecular modifications. *Cereal Chem.* 61(6): 538-43, 1984.
44. CRUZ, M. S.; COELHO, D. T.; KIBUUKA, G. K. & CHAVES, J. P. Caracterização Química de Farinha mista de arroz e soja pré-cozida por extrusão. *Revista Ceres.* 30(171): 357-65, 1983.

45. CUBADDA, R. Effect of the Drying Process on the Nutritional and Organoleptic Characteristics of pasta. A Review. In: MERCIER & CANTARELLI *Pasta and Extrusion Cooked Foods. Some Technological and Nutritional Aspect* . Elsevier Applied Science Pub., 1986. p. 79-89.
46. CUBADDA, R. Evaluation of durum wheat, semolina and pasta in Europe. In: FABRIANI, G. & LINTAS, C.eds. *Durum wheat: Chemistry and Technology* . St. Paul, AACC, 1988. p. 217-228.
47. DAVIDSON, V. J.; PATON, D.; DIOSADY, L. & LAROCQUE, G. Degradation of wheat starch in a single screw extruder: characteristics of extruded starch polymers. *J. Food Sci.* 49(2): 453-58, 1984.
48. DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. & MORGAN, B. C. Spaghetti stickiness: Some factors influencing stickiness and relationship to other cooking quality characteristics. *J. Food Sci.* 48(5): 1545-59, 1983.
49. DICK, J. W. & YOUNGS, V. L. Evaluation of durum wheat, semolina and pasta in the United States. In: FABRIANI, G. & LINTAS, C. eds. *Durum wheat: Chemistry and Technology*. St. Paul, AACC, 1988. p.237-248.
50. DOUGLAS, J. S. & MATTHEWS, R. H. Nutrient Content of Pasta Products. *Cereal Foods World.* 27(11): 558-61, 1982.
51. DOWDY, S. & WEARDEN, S. *Statistics for Research*. New York, J. Wiley & Sons, 1983. 537p.
52. EGGUM, B. O.; JULIANO, B. O.; IBABAO, M. G. & PEREZ, C. M. Effects of extrusion Cooking on Nutritional value of rice flour. *Food Chem.* 19(3): 235-40, 1986.
53. EL-DASH, A. A. Molecular Structure of gluten and viscoelastic properties of dough: a new concep. In: OLIVEIRA & SGARBIERI eds. *Proceeding of the first brazilian Congress on Proteins*. Campinas, Ed. UNICAMP,

1990.

54. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Energy and Protein Requirements*. Geneve, 1985. (FAO/WHO Tech. Rpt. Ser., 724).
55. FEILLET, P. Protein and enzyme composition of durum wheat. In: FABRIANI, G. & LINTAS, C. eds. *Durum wheat: Chemistry and Technology*. St. Paul, AACCC, 1988. p.93-119.
56. FORNAL, L.; SORAL-ŚMIETANA, M.; ŚMIETANA, Z. & SZPENDOWSKI, J. Chemical Characteristics and Physico-chemical Properties of the extruded mixtures of Cereal starches. *Die Stärke*. 39(3): 75-78, 1987.
57. FORTINI, S. Some Specific Aspects of durum wheat and pasta Cooking Quality evaluation in Europe. In: FABRIANI, G. & LINTAS, C. eds. *Durum wheat: Chemistry and Technology*. St. Paul, AACCC, 1988. p. 229-236.
58. GOMEZ, M. H. & AGUILERA, J. M. Changes in the Starch fraction during extrusion-cooking of Corn. *J. Food Sci.* 48(2): 378-81, 1983.
59. GOMEZ, M. H. & AGUILERA, J. M. A Physicochemical model for extrusion of Corn Starch. *J. Food Sci.* 49(1): 40-43, 63 , 1984.
60. GONZALES-AGRAMON, M. & SERNA-SALDIVAR, S. O. Effect of defatted soybean isolate fortification on the Nutritional, physical, chemical and sensory properties of wheat Flour Tortillas. *J. Food Sci.* 53(3): 793-97, 1988.
61. GRIST, D. H. Nutritional Value of Rice. In: GRIST, D. H. ed. *Rice*. London, Longmans Green and Co., 1965. 548p.

62. HARMUTH-HOENE, A. E. & SEILER, K. Einflußverschiedener extrusionsbedingungen auf die proteinqualität bei weizenvollkorn-extrudaten. *Get., Mehl und Brot* 38(8): 245-49, 1984.
63. HARMUTH-HOENE, A. E.; SEIBEL, W. & SEILER, K. Veränderungen der proteinqualität bei Vollkornprodukten durch extrusion. *Get., Mehl und Brot* 40(10): 315-19, 1986.
64. HARPER, J. M. Food Extrusion. *CRC - Crit. Rev. Food Sci. Nut.* 11(2): 155-215, 1979.
65. HARPER, J. M. *Extrusion of Foods*. Boca Ratón, CRC Press, V.I, 1981.
66. HUMMEL, C. *Macaroni Products. Manufacture, Processing and Packing*. London, Food Trade Press, 1966. 263p.
67. HURT, H. D.; FORSYTHE, R. H. & KRIEGER, C. H. Factors which influence the biological evaluation of protein quality by the protein efficiency ratio method. In: FRIEDMANN, M. ed. *Protein Nutritional quality of foods and feeds*. New York, Marcel Dekker, V. I, 1975. p.87-112.
68. IRVINE, G. N. Durum wheat and Pasta Products. In: POMERANZ, Y. ed. *Wheat, Chemistry and Technology*. St. Paul, AACC V. III, 1978. p.777-796.
69. JANSEN, G. R.; HARPER, J. M. & O' DEEN, L. Nutritional Evaluation of Blended Foods made with a low-cost extruder cooker. *J. Food Sci.* 43(3): 912-15, 1978.
70. JEFFERS, H. C.; NOGUCHI, G. & RUBENTHALER, G. L. Effects of legume fortifiers on the quality of Udon Noodles. *Cereal Chem.* 56(6): 573-76, 1979.

71. JEUNINK, J. & CHEFTEL, J. C. Chemical and physicochemical changes in field bean and soybean proteins texturized by extrusion. *J. Food Sci.* 44(5): 1322-25,28 ,1979.
72. JULIANO, B. O. Physicochemical properties of starch and protein in relation to grain quality and nutritional value of rice. In: THE INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE ed. *Rice Breeding*. Los Baños, 1972. p.389-405.
73. JULIANO, B. O. Polysaccharides, proteins and lipids of rice. In: JULIANO B. O. ed. *Rice, chemistry and technology*. St. Paul, AACC, 1985. p. 59-160.
74. KIM, J. & ROTTIER, W. Modification of aestivum wheat semolina by extrusion. *Cereal Food World* 24(2): 62-66, 1980.
75. KITE, F. E.; SCHOCH, T. J. & LEACH, H. W. Granule swelling and paste viscosity of thick-boiling starches. *Backer's Dig.* 31(4): 42, 1957.
76. KRAMER, A. Food Texture: Definition, Measurement and Relation to Other Food Quality Attributes. In: KRAMER, A. & SZCZESNIAK, A. eds. *Texture Measurements of Foods*. Dordrecht, Reidel, D. Publishing Co., 1973
77. KUHN, M.; ELSNER, G. & GRÄBER, S. Kochextrusion von Stärke mit Hydrokolloiden. *Die Stärke* 41(12):467-71,1989
78. KWEE, W. H.; SIDWELL, V. D.; WILEY, R. C. & HAMMERLE, O. A. Quality and nutritive value of pasta made from rice, corn, soya and tapioca enriched with fish protein concentrate. *Cereal Chem.* 46(1): 78-84, 1969.
79. LAIGNELET, B.; FEILLET, P.; NICOLAS, D. & KADANE, V. V. Potential use of soy protein in the pasta industry. *Lebens. Wissen. und Tech.*

9(1): 24-28, 1976.

80. LAWTON, B. J.; HENDERSON, G. A. & DERLATSKA, E. J. The effects of extrusion variables on the gelatinization of corn starch. *Can. J. Chem. Eng.* 50(4): 168-72, 1972.
81. LIENER, I. E. Nutritional value of food protein products. In: SMITH & CIRCLE eds. *Soybeans: Chemistry and Technology*. Westport, AVI Publishing Company, V. I, 1972. p.203-277.
82. LII, C. & CHANG, S. Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. aurea). Starch and its noodle quality. *J. Food Sci.* 46(1): 78-81, 1981.
83. LINKO, P.; COLONNA, P. & MERCIER, C. High-temperature, short-time extrusion cooking. In: POMERANZ, Y. ed. *Advances in cereal Science and technology*. St. Paul, AACC, V. IV, 1981.
84. LORENZ, K.; JANSEN, G. R. & HARPER, J. Nutrient Stability of full-fat soy flour and corn-soy blends produced by low-cost extrusion. *Cereal Foods World* 25(4): 161-162, 171-172 , 1980.
85. MARIANI-CONSTANTINI, A Image and nutritional role of pasta in changing food patterns. In: FABRIANI, G. & LINTAS, C. eds. *Durum wheat: chemistry and technology*. St. Paul, AACC, 1988. p.283-302.
86. MATSUO, R. R. & IRVINE, G. N. Effect of gluten on the cooking quality of spaghetti. *Cereal Chem.* 47(2): 173-180, 1970.
87. MATSUO, R. R.; BRADLEY, J. W. & IRVINE, G. N. Effect of protein content on the cooking quality of spaghetti. *Cereal Chem.* 49(6): 707-11, 1972.

88. MERCIER, C. & FEILLET, P. Modification of Carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.* 52(3-1): 283-97, 1975.
89. MERCIER, C. Effect of extrusion cooking on potato starch using a twin-screw french extruder. *Die Stärke* 28(2): 48-52, 1977.
90. MERCIER, C.; CHARBONNIERE, R.; GALLANT, D. & GUILBOT, A. Structural modification of various starches by extrusion-cooking with a twin-screw french extruder. In; BLANCHARD & MITCHELL eds. *Poly-saccharides in Food*. Butterworths, 1979.
91. MERCIER, C. Comparative modifications of starch and starchy products by extrusion-cooking and drum-drying. In; MERCIER & CANTARELLI eds. *Pasta and extrusion cooked foods. Some technological and nutritional aspects*. Milan, Elsevier Applied Science Publishing, 1986. p.120-130.
92. MITCHELL, H. H. A Method of determining the biological value of protein. *J. Bio. Chem.* 58: 873-903, 1924.
93. Mc LAUGHLAN, J. M. & KEITH, M. O. Bioassays for protein quality. In: FRIEDMAN, M. ed. *Protein nutritional quality of foods and feeds*. New York, Marcel Dekker, V. I, 1975. p.79-85.
94. McNAUGHTON, J. L. Color, Trypsin Inhibitor and urease activity as it Affects Growth of Broilers. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 58(3):321-24,1981
95. MORAD, M. M.; EL-MAGOLI, S. B. & AFIFI, S. A. Macaroni supplemented with lupin and deffated soybean flours. *J. Food Sci.* 45(2): 404-05, 1980.
96. MOTA, F. S. Clima e zoneamento para a triticultura no Brasil. In: FUNDAÇÃO CARGILL ed. *Trigo no Brasil*. Campinas, V. I, 1982.

97. MUSTAKAS, G. C.; GRIFFIN, E. L.; ALLEN, L. E. & SMITH, O. B. Production and nutritional evaluation of extrusion-cooked full-fat soybean flour. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 41(8): 607-11, 1964.
98. MUSTAKAS, G. C.; ALBRECHT, W. J.; BOOKWALTER, G. N.; Mc GHEE, J. E.; KWOLEK, W. F. & GRIFFIN, JR. E. L. Extruder processing to improve nutritinal quality, flavor and keeping quality of full-fat soy flour. *Food Tech.* 24(11): 1290-96, 1970.
99. NIELSEN, M. A.; SUMNER, A. K. & WHALLEY, L. L. Fortification of pasta with pea flour and air-classified pea protein concentrate. *Cereal Chem.* 57(3): 203-06, 1980.
100. NOGUCHI, A.; MOSSO, K.; AYMARD, C.; JEUNINK, J. & CHEFTEL, J. C. Maillard reactions during extrusion cooking of protein-enriched biscuits. *Lebens. Wiss. und Tech.* 15(2): 105-10, 1982.
101. NUTRITIONAL BIOCHEMICALS CORPORATION. *Diet Catalog.* Cleveland, ICN, 1977/1978. 24p.
102. OLKKU, J. & LINKO, P. Effects of thermal processing on cereal-based food systems. In: DAWNEY, W. K. ed. *Food Quality and Nutrition. Research priorities for thermal processing.* London, Applied Science Publishers, 1977.
103. OTUN, E. L.; CRAWSHAW, A. & FRAZIER, P. J. Flow behaviour and structure of proteins and starches during extrusion cooking. In: FARIDI, H. & FAUBION, J. M. eds. *Fundamentals of dough rheology.* St. Paul, AACC, 1986.
104. OWUSU-ANSAH, J.; VAN DER VOORT, F. R. & STANLEY, D. W. Physicochemical changes in cornstarch as a function of extrusion variables. *Ce-*

real Chem. 60(4): 319-24, 1983.

105. PAGANI, A.; RESMINI, P. & DALBON, G. Formulazione e produzione di paste alimentari a partire da materie prime non convenzionali. *Tec. Molitoria* 32(1); 1-24, 1981.
106. PAGANI, M. A. Pasta products from non conventional raw materials. In: MERCIER & CANTARELLI eds. *Pasta and extrusion cooked foods. Some technological and nutritional aspects.* Milan, Elsevier Applied Science Publishers, 1986. p.52-68.
107. PAULSEN, T. M. A study of macaroni products containing soy flour. *Food Tech.* 15(3): 118-21, 1961.
108. PELLET, P. L. & YOUNG, V. R. *Nutritional evaluation of protein foods.* Tokyo, UNU, 1980. 108p.
109. RASPER, V. Theoretical Aspects of Amylographology, In: SHUEY, W. & TIPPLES, K. eds. *The amylograph Handbook.* St. Paul, AACC, 1980, p.37
110. RUALES, J.; PÓLIT, P. & NAIR, B. M. Nutritional quality of blended foods of rice, soy and lupins, processed by extrusion. *Food Chem.* 29(4): 309-21, 1988.
111. SIEGEL, A.; BHUMIRATANA, A. & LINEBACK, D. R. Development, acceptability and nutritional evaluation of high-protein soy-supplemented rice noodles for thai children. *Cereal Chem.* 52(6): 801-12, 1975.
112. SCHELLING, G. T. An efficient procedure for the complete evaluation of dietary proteins. In: FRIEDMAN, M. ed. *Protein Nutritional Quality of Foods and Feeds.* New York, Marcel Dekker, V. I, 1975. p.137-163.

113. SHEHATA, N.A.; IBRAHIM, A.A. & GHALI, N.N. Effect on protein quality of supplementing wheat flour with soy protein concentrate in making Egyptian pastries *Die Nahrung* 33(8): 753-759, 1989
114. SHELLENBERGER, J. A. Production and Utilization of wheat. In: POMERANZ, Y. ed. *Wheat, Chemistry and Technology*. St. Paul, AACC, 1978. 1-18p.
115. SHEU, R-Y.; MEDCALF, D. G.; GILLES, K. A. & SIBBITT, L. D. Effect of biochemical constituents on macaroni quality. I. Differences between hard red spring and durum wheats. *J. Sci. food agric.* 18(6): 237-39, 1967.
116. SHUKLA, T. P. Cereal proteins: Chemistry and Food Applications. *CRC - Cr. Rev. Food Sci. Nut.* 6(1): 1-75, 1975.
117. SCHWEIZER, T. F.; REIMANN, S.; SOLMS, J.; ELIASSON, A. C. & ASP, N. G. Influence of drum-drying and twin screw extrusion cooking on wheat carbohydrates. II. Effect of lipids on physical properties, degradation and complex formation of starch in wheat flour. *J. Cereal Sci.* 4(3): 249- 60, 1986.
118. TOMASINI, R. G. Importação e economicidade da produção de trigo no Brasil. In; FUNDAÇÃO CARGILL ed. *Trigo no Brasil*. Campinas, V. I, 1982. p.3-26.
119. TSAO, T.; BEETNER, G.; LORENZ, K. & FREY, A. Extrusion processing of instant rice spaghetti. *Lebens. Wiss. und Tech.* 9(2); 96-8, 1976.
120. VAN ZUILICHEM, D. J. & SOLP, W. Survey of the present extrusion cooking techniques in the food and confectionery industry. In: COLM O'CONNOR ed. *Extrusion technology for the food industry*. Dublin, Elsevier Applied Science, 1986. p.1-15.

121. WALSH, D. E. & GILLES, K. A. The influence of protein composition on spaghetti quality. *Cereal Chem.* 48(5): 544-54, 1971.
122. WIEDMAN, W. & STROBEL, E. Processing and economic advantages of extrusion cooking in comparison with conventional process in the food industry. In: COLM O' CONNOR ed. *Extrusion Technology for the food industry.* Dublin, Elsevier Applied Science, 1986. p.132-169.
123. YADAV, N. R. & LIENER, I. E. Nutritional evaluation of dry-roasted navy bean flour and mixtures with cereal proteins. *Adv. Exp. Med. Biol.* 105: 401-13, 1978.
124. YAÑEZ, E.; BALLESTER, D.; AGUAYO, M. & WULF, H. Enriquecimiento de pan con harina de soya. *Arch. Latino-amer. nutr.* 32(2):417-428, 1982