

Efeito da temperatura de extrusão, umidade da matéria-prima, teor de amido e sacarose nas características tecnológicas e nutricionais de produtos extrusados de germe de trigo.

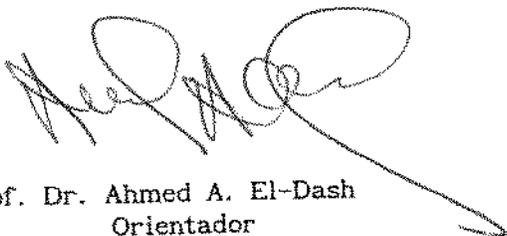
37192

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Parcer
Efeito da temperatura de extrusão, umidade da matéria-prima,
teor de amido e sacarose nas características tecnológicas e
nutricionais de produtos extrusados de germe de trigo.

Este exemplar corresponde a versão final da
tese defendida por Lilia Maria Rosamiglia Marques
e aprovada pela comissão Julgadora em 02.12.92.
Campinas, 02 de dezembro de 1992.

Lilia Maria Rosamiglia Marques
Engenheira de Alimentos

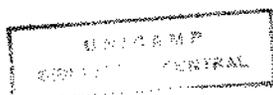


Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
Orientador

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

CAMPINAS - SÃO PAULO
1992

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS



BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. Roy Edward Bruns
(membro)



Prof. Dr. Admar Costa de Oliveira
(membro)

Prof. Dr. Yoon Kil Chang
(membro)

Campinas, de dezembro de 1992.

Ao

João

com profunda gratidão e amor

Aos pequenos

Luis Felipe

Giulia

mínhas luzes

A memória de minha MÃE

pelo exemplo de vida

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ahmed A. El Dash, pela orientação precisa, confiança e amizade.

Ao João Fernando Marques pela presença, apoio e compreensão.

À amiga Maria Aparecida da Silva Costa pela dedicação e constante presença.

Ao Prof. Dr. Admar Costa de Oliveira pelas discussões e sugestões na parte de avaliação nutricional

À Profa. Dra. Maria Helena Damásio pelo auxílio na realização da análise sensorial.

Ao Prof. Dr. Dalton Francisco de Andrade e Helena Hiromi Utsumi pelo auxílio no trabalho estatístico.

À FEA, através de sua direção e coordenação de Pós- Graduação, pelas condições oferecidas para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Moinho Brasway e Refinações de Milho Brasil pelo fornecimento de matéria-prima.

Ao ITAL pelo auxílio na realização das análises de cor.

Aos colegas Maria Alice, Doralice, Manuel, Atílio e Normandis pela amizade e bons momentos de convivência.

Aos funcionários da Secretaria e dos Laboratórios de Tecnologia, em especial Nilo e Alice, pela colaboração.

À ABIA pelo auxílio na impressão da tese.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMO	xv
SUMMARY	xvii
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
A. GERME DE TRIGO	4
1. Composição química	4
2. Valor nutricional	4
3. Estabilidade	12
B. APROVEITAMENTO DO GERME DE TRIGO	13
C. EXTRUSÃO	15
1. Considerações gerais	15
2. Equipamento	16
3. Processo de extrusão	18
D. EFEITO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NA COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS	19
1. Proteínas	19
2. Amido	20
3. Lipídios	22
4. Vitaminas	22
5. Enzimas	25
III. MATERIAL E MÉTODOS	27
A. MATERIAL	27
1. Matéria-prima	27
2. Reagentes	27
B. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	27
1. Delineamento experimental	27
a. Delineamento estatístico para estudo das características tecnológicas do germe de de trigo extrusado	27
b. Delineamento estatístico para estudo das propriedades nutricionais e estabilidade do germe de trigo extrusado	32

2. Métodos experimentais	34
a. Preparo das misturas	34
b. Condicionamento das misturas	34
c. Extrusão das misturas	35
i. Equipamento	35
ii. Determinação da vazão do alimentador	36
iii. Processamento	36
3. Análise estatística dos resultados	36
C. MÉTODOS ANALÍTICOS	38
1. Umidade	38
2. Cinzas	38
3. Proteína	38
4. Gordura	39
5. Fibra	39
6. Amido	39
7. Açúcares totais	39
8. Açúcares redutores	39
9. Cromatografia gasosa para determinação da composição em ácidos graxos	39
10. Índice de peróxido	40
11. Índice de acidez	40
12. Vitaminas	40
13. Determinação da composição em aminoácidos	41
14. Índice de absorção de água	41
15. Índice de solubilidade em água	42
16. Grau de expansão	42
17. Densidade	42
18. Teste de dureza	42
19. Determinação de cor	43
D. MÉTODOS BIOLÓGICOS	43
1. Descrição dos ensaios biológicos	43
2. Preparo das dietas	44
3. Quociente protéico líquido (NPR)	44
4. Digestibilidade aparente	45
5. Valor biológico aparente	45
6. Utilização líquida aparente de proteína (NPUa)	46

E. ANÁLISE SENSORIAL	46
1. Seleção e treinamento dos provadores	46
2. Testes realizados	49
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
A. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO GERME DE TRIGO	52
1. Composição química	52
2. Composição em ácidos graxos	53
3. Composição de aminoácidos	54
4. Determinação de vitaminas	55
B. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO, UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA, TEOR DE AMIDO E TEOR DE AÇÚCAR NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS PRODUTOS EXTRU- SADOS À BASE DE GERME DE TRIGO	56
1. Índice de absorção de água	56
2. Índice de solubilidade em água	68
3. Taxa de Expansão	77
4. Densidade	84
5. Resistência à ruptura (dureza)	95
6. Cor	106
C. EFEITO DE TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA NA QUALIDADE NUTRICIONAL DOS PRODU- TOS EXTRUSADOS DE GERME DE TRIGO	122
1. Digestibilidade aparente	122
2. Valor biológico aparente	127
3. Utilização líquida de proteína	131
4. Quociente protéico líquido	136
5. Niacina	139
6. Riboflavina	143
7. Tiamina	148
8. Pantotenato de cálcio	152
9. Piridoxina	156
10. Vitamina E	159

D. EFEITO DE TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA NO ÍNDICE DE PERÓXIDO E ÍNDICE DE ACIDEZ DE EXTRUSADOS DE GERME DE TRIGO DURANTE ARMAZENAMENTO	163
E. ANÁLISE SENSORIAL DE EXTRUSADOS DE GERME DE TRIGO DURANTE ARMAZENAMENTO	177
V. CONCLUSÃO	182
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	184

INDICE DE TABELAS

Tabela 1: Estimativa da disponibilidade interna de trigo para consumo humano (toneladas)	3
Tabela 2: Composição química centesimal do germe de trigo	5
Tabela 3: Composição de aminoácidos do germe de trigo, farinha de trigo e glúten	6
Tabela 4: Efeito do tratamento térmico no valor nutricional da proteína do germe de trigo	7
Tabela 5: Crescimento e utilização líquida de proteína para pintinhos alimentados com germe de trigo tratado termicamente	8
Tabela 6: Composição em ácidos graxos da gordura do germe de trigo	10
Tabela 7: Principais vitaminas do germe de trigo e outros alimentos	11
Tabela 8: Retenção de tiamina e riboflavina em extrusão de "grits" milho	23
Tabela 9: Limites de variação para perda de vitaminas durante extrusão comercial	25
Tabela 10: Variáveis e níveis de variação (quatro variáveis)	29
Tabela 11: Delineamento experimental composto rotacional para quatro variáveis em três níveis (valores codificados)	30
Tabela 12: Delineamento experimental composto rotacional para as variáveis estudadas em três níveis valores reais)	31
Tabela 13: Variáveis e níveis de variação (duas variáveis)	33
Tabela 14: Delineamento experimental composto rotacional para as variáveis estudadas (valores codificado e reais)	33
Tabela 15: Composição centesimal das dietas utilizadas nos ensaios biológicos	44
Tabela 16: Delineamento de blocos incompletos balanceados para: $t = 11$, $k = 5$, $b = 11$, $r = 5$ e $\lambda = 2$	49
Tabela 17: Composição química do germe de trigo	52

Tabela 18: Composição em ácidos graxos da gordura do germe de trigo	53
Tabela 19: Composição em aminoácidos da proteína do germe de trigo	54
Tabela 20: Conteúdo de vitaminas no germe de trigo	55
Tabela 21: Influência das variáveis do processo de extrusão no índice de absorção de água (IAA) dos produtos extrusados à base de germe de trigo	57
Tabela 22: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para índice de absorção de água (IAA)	58
Tabela 23: Influência das variáveis do processo de extrusão no índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados à base de germe de trigo	69
Tabela 24: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para índice de solubilidade em água (ISA)	70
Tabela 25: Influência das variáveis do processo de extrusão na taxa de expansão dos produtos extrusados à base de germe de trigo	79
Tabela 26: Análise de variância e estimativa dos coeficiente da regressão para taxa de expansão	81
Tabela 27: Influência das variáveis de extrusão na densidade dos produtos extrusados à base de germe de trigo	85
Tabela 28: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para densidade	86
Tabela 29: Influência das variáveis de extrusão na dureza dos produtos extrusados à base de germe de trigo	96
Tabela 30: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para dureza	97
Tabela 31: Influência das variáveis de extrusão na cor dos produtos extrusados à base de germe de trigo	107
Tabela 32: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para cor: componente L (luminosidade)	109

Tabela 33: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para cor: componente a_{Hunter} (vermelho)	118
Tabela 34: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para cor: componente b_{Hunter} (amarelo)	121
Tabela 35: Influência de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na Digestibilidade aparente (Da) dos produtos extrusados de germe de trigo	123
Tabela 36: Análise da variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Digestibilidade aparente (Da)	124
Tabela 37: Influência de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Valor Biológico aparente (VBa) de produtos extrusados de germe de trigo	128
Tabela 38: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Valor Biológico aparente (VBa)	129
Tabela 39: Influência de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na Utilização Líquida de Proteína (NPUa) de produtos extrusados de germe de trigo	132
Tabela 40: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Utilização Líquida de Proteína (NPUa)	133
Tabela 41: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Quociente Protéico Líquido (NPR) de produtos extrusados de germe de trigo	137
Tabela 42: Análise de variância para Quociente Protéico Líquido(NPR)	138
Tabela 43: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Niacina (PP) de produtos extrusados de germe de trigo	140
Tabela 44: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Niacina (PP)	141

Tabela 45: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Riboflavina (B2) de produtos extrusados de germe de trigo	144
Tabela 46: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Riboflavina (B2)	145
Tabela 47: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Tiamina (B1) de produtos extrusados de germe de trigo	149
Tabela 48: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Tiamina (B1)	150
Tabela 49: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Pantotenato de Cálcio (PantCa) de produtos extrusados de germe de trigo	153
Tabela 50: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Pantotenato de Cálcio	154
Tabela 51: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Piridoxina (B6) de produtos extrusados de germe de trigo	157
Tabela 52: Análise de variância para Piridoxina (B6)	158
Tabela 53: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Vitamina E de produtos extrusados de germe de trigo	160
Tabela 54: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Vitamina E	161
Tabela 55: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Índice de Peróxido (IP) de produtos extrusados de germe de trigo logo após extrusão e armazenamento	164
Tabela 56: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Índice de Peróxido (t = 48 horas)	165
Tabela 57: Equações de regressão para índice de peróxido em função de temperatura de extrusão durante o armazenamento	168

Tabela 58: Influência de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no índice de acidez (IA) de produtos extrusados de germe de trigo logo após extrusão e durante armazenamento	171
Tabela 59: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Índice de Acidez (t = 48 horas)	172
Tabela 60: Equações de regressão para índice de acidez em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima durante o armazenamento	175
Tabela 61: Média ponderada das notas atribuídas ao odor de ranço dos produtos extrusados de germe de trigo durante armazenamento	178
Tabela 62: Média ponderada das notas atribuídas à aceitabilidade dos produtos extrusados de germe de trigo durante armazenamento	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de um extrusor de cozimento	17
Figura 2: Ficha modelo empregada para treinamento e seleção de provadores para odor de ranço em germe de trigo extrusado	48
Figura 3: Ficha modelo empregada para avaliação do odor de ranço e aceitabilidade de produtos extrusados de germe de trigo	51
Figura 4: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no índice de absorção de água (g de gel/g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, teor de açúcar = 8%)	60
Figura 5: Efeito de teor de amido e teor de açúcar no índice de absorção de água (g de gel/g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, temperatura = 150°C)	61
Figura 6: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido no índice de absorção de água (g de gel/ g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%)	63
Figura 7: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar no índice de absorção de água (g de gel/g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)	64
Figura 8: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido no índice de absorção de água (g de gel/ g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%, temperatura = 150°C)	65
Figura 9: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar no índice de absorção de água (g de gel/ g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, temperatura = 150°C)	67
Figura 10: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no índice de solubilidade em água (%) de produtos	

extrusados de germe de trigo (amido = 35%, açúcar = 8%)	71
Figura 11: Efeito de teor de amido e teor de açúcar no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, umidade = 19%)	73
Figura 12: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%)	74
Figura 13: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar no índice de solubilidade em água de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)	75
Figura 14: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, açúcar = 8%)	76
Figura 15: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, amido = 35%)	78
Figura 16: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido na taxa de expansão de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%)	82
Figura 17: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar na taxa de expansão de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)	83
Figura 18: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, açúcar = 8%)	88
Figura 19: Efeito de teor de amido e teor de açúcar na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, temperatura = 150°C)	89
Figura 20: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%, umidade = 19%)	90

Figura 21: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)	91
Figura 22: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C , açúcar = 8%)	93
Figura 23: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C , amido = 35%)	94
Figura 24: Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, açúcar = 8%)	99
Figura 25: Efeito de teor de amido e teor de açúcar na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, temperatura = 150°C)	101
Figura 26: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%)	102
Figura 27: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)	103
Figura 28: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C , açúcar = 8%)	104
Figura 29: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C , amido = 35%)	105
Figura 30: Sólido de cor L, a, b do sistema Hunter	106
Figura 31: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no componente L_{Hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, açúcar = 8%)	110

- Figura 32: Efeito de teor de açúcar e teor de amido no componente L_{Hunter} (luminosidade) e produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, umidade = 19%) 111
- Figura 33: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido no componente L_{Hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%) 113
- Figura 34: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar no componente L_{Hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%) 114
- Figura 35: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido no componente L_{Hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, açúcar = 8%) 115
- Figura 36: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar no componente L_{Hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, amido = 35%) 117
- Figura 37: Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão no componente a_{Hunter} (vermelho) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%) 120
- Figura 38: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na Digestibilidade aparente de produtos extrusados do germe de trigo 126
- Figura 39: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Valor Biológico aparente de produtos extrusados de germe de trigo 130
- Figura 40: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na Utilização Líquida de Proteína (aparente) de produtos extrusados de germe de trigo 135
- Figura 41: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Niacina de produtos extrusados de germe de trigo 142

Figura 42: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Riboflavina de produtos extrusados de germe de trigo	147
Figura 43: Efeito de temperatura de extrusão no conteúdo de Tiamina de produtos extrusados de germe de trigo	151
Figura 44: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Pantotenato de Cálcio (mg/100g m.s.) de produtos extrusados de germe de trigo	155
Figura 45: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Vitamina E de produtos extrusados de germe de trigo	162
Figura 46: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Índice de Peróxido (meq. de peróxido/1000 g de óleo) de produtos extrusados de germe de trigo (t = 48 horas)	166
Figura 47: Índice de peróxido dos extrusados de germe de trigo em função de temperatura de extrusão e tempo de armazenamento	169
Figura 48: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Índice de Acidez (mg KOH/g de óleo de produtos extrusados de germe de trigo (t = 48 horas)	173
Figura 49: Índice de acidez (mg KOH/g de óleo) do germe de trigo cru durante o armazenamento	176
Figura 50: Área de rejeição das amostras em função do odor de ranço relacionado ao IPc e temperatura de extrusão	181

RESUMO

Como porção germinativa do grão de trigo, o germe detém grande quantidade de nutrientes, é rico em vitaminas, sais minerais, gordura e proteínas de excelente qualidade.

Apesar de seu reconhecido valor nutricional, o emprego do germe de trigo na alimentação humana é bastante reduzido quando comparado à quantidade que é destinada ao preparo de ração para animais e aves.

Por outro lado o germe de trigo apresenta certos impasses para sua utilização na alimentação humana, devido a presença de fatores antinutricionais e pela pobre estabilidade, desenvolvendo rancidez em pouco tempo, à temperatura ambiente e sem tratamento.

A extrusão termoplástica como processo térmico, do tipo High Temperature Short Time, poderia ser empregado para tratamento do germe, ampliando assim, o potencial de aplicação desse subproduto da indústria moageira, na alimentação humana.

Os objetivos desse trabalho foram: estudar a influência de temperatura de extrusão (90 a 210°C), umidade da matéria-prima (15 a 23%), teor de amido na matéria-prima (25 a 45%) e teor de açúcar (0 a 16%), em algumas características tecnológicas dos produtos extrusados de germe de trigo, e avaliação da qualidade nutricional e estabilidade do extrusado durante o armazenamento, em função de temperatura de extrusão (107,6 a 192,4°C) e umidade da matéria-prima (16,2 a 21,8%).

A metodologia de superfície de resposta foi empregada para avaliar as respostas estudadas.

A absorção de água, solubilidade em água, dureza e densidade foram afetadas significativamente pela temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, assim como pela variação dos ingredientes (amido e açúcar). Expansão não sofreu influência de teor de umidade.

Os produtos mais escuros ocorreram com aumento de temperatura e umidade. Amido e açúcar contribuíram para tornar os produtos mais claros.

É interessante ressaltar que, produtos com um mesmo valor para uma determinada propriedade podem ser obtidos sob diferentes condições de extrusão, o que é de grande importância, quando se pretende obter um produto com uma série de características que nem sempre são influenciadas da mesma maneira pelas variáveis.

Em termos de digestibilidade (Da), valor biológico (VBa), utilização líquida de proteína (NPUa) e quociente proteico líquido (NPR), as proteínas dos extrusados foram consideradas de boa qualidade, próximo ao do germe de trigo cru e caseína. A temperatura de extrusão foi a variável mais significativa para essas respostas, ocorrendo menores valores absolutos à temperatura de 192,4°C e 19% de umidade.

As vitaminas foram afetadas pela temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, sendo o atrito mecânico e o calor, os responsáveis pela destruição. Perdas substanciais ocorreram para vitamina E, enquanto que a piridoxina apresentou maior retenção.

O índice de peróxido foi afetado pela temperatura de extrusão durante o armazenamento, aumentando com temperatura até 155°C aproximadamente.

O índice de acidez foi afetado pelas condições de extrusão logo após a extrusão, apresentando menores valores para baixa umidade e temperatura acima de 160°C. Essa condição coincide com menor atividade de lipase.

Através de análise sensorial, os extrusados foram rejeitados devido ao odor de ranço, após um período de armazenamento de 100 dias.

SUMMARY

Wheat germ component is rich in vitamins, minerals, fat content and good quality proteins.

The amount of wheat germ used as food in human consumption is very low compared to the amount used as feed for animal.

This fact could be explained by some problems in raw wheat germ.

The extrusion cooking process - High Temperature Short Time was applied to wheat germ in order to obtain a product for human consumption.

The objectives of this study were to analyze the effects of the extrusion temperature (90 to 210°C), moisture content of the raw material (15 to 23%), starch content (25 to 45%) and sugar content (0 to 16%), over some technological characteristics of the products and to conduct a nutritional quality evaluation and stability of the final product under the following conditions; temperature of the extrusion process varying from 107,6 a 192,4°C and moisture content from 16,2 a 21,8%.

Response surface analysis was used in order to analysis the date obtained.

The analysis of the results showed that water absorption, solubility, force necessary to crunch and density were statistically significant affected by the temperature of the extrusion and by the moisture content as well as by variation in starch and sugar contents. Expansion was not affected by moisture content.

It is interesting to observe that products that have the same value for one property can be obtained under different extrusion conditions.

The extruded product showed a good nutritional value when compared to raw wheat germ and casein, based upon digestibility, biological value, net protein utilization and net protein ratio. The temperature extrusion was the most significative factor that affect such results.

Vitamins were affected by extrusion temperature and moisture content. The shear and the high temperature were founded to be the factors responsible for the destruction of the vitamins.

The process under study showed a substantial loss of vitamin E and greater retention of pyridoxin.

The peroxide index was determined during storage with the temperature of extrusion, with increasing temperature until approximately 155°C.

The index of acidity was determined soon after extrusion with condition of extrusion. Less values were found with lower moisture and with temperatures higher than 160°C. This condition coincides with lower lipases activity.

By sensorial analysis the estruded product were rejected due rancid odor, after a storage periode of approximately 100 days.

I. INTRODUÇÃO

O trigo consumido no Brasil é processado em moinhos comerciais visando a obtenção de farinha para a produção de pães, massas, biscoitos, bolos, macarrão e para uso doméstico. A moagem comercial do grão de trigo visa o máximo de extração do endosperma com o mínimo possível de incorporação de farelo ou germe, os quais são considerados subprodutos da indústria moageira. Não é desejável a presença do germe pois este afeta a farinha quanto à estabilidade na estocagem, bem como na qualidade tecnológica (SHURPALEKAR, RAO, 1977).

Com o advento do moinho de rolos no século XIX, tornou-se possível no processo de moagem do trigo, a separação do germe praticamente intacto. O germe representa cerca de 2 a 3% do peso do grão de trigo. Considerando que o consumo de trigo no Brasil, no ano de 1990, foi da ordem de 7 milhões de toneladas, isto representaria uma produção de 140 a 200 mil toneladas de germe (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 1991).

Pela sua composição natural o germe tem sido reconhecido como excelente fonte de proteínas e vitaminas além de gordura, amido, fibra, açúcares e minerais (GARCIA et al., 1972). As proteínas do germe, cerca de 25%, são de excelente qualidade nutricional. A quantidade de lisina no germe representa cerca de 4 vezes a quantidade de lisina contida no endosperma do grão de trigo (POMERANZ, 1970a). A gordura, similar à composição do óleo de milho, é basicamente composta de ácidos graxos poliinsaturados. A presença de alta quantidade de vitaminas no germe, particularmente vitamina E, tiamina e piridoxina fazem dele uma matéria-prima indicada para enriquecimento de alimentos (SHURPALEKAR, RAO, 1977).

Apesar do alto valor nutritivo do germe de trigo, seu emprego na alimentação humana ainda é bastante reduzido, basicamente comercializado na forma de germe puro torrado, e consumido como coadjuvante de outros alimentos. O grande consumo de germe de trigo tem sido direcionado para o preparo de ração para animais e aves.

O germe de trigo apresenta algumas restrições para a alimentação humana, pois além de conter fatores de hemaglutinação e antitripticos, desenvolve rancidez em pouco tempo devido à natureza de sua gordura e pela presença de lipases e lipoxidases (VITI et al., 1979; SHURPALEKAR, RAO, 1977).

Estudos de estabilização do germe de trigo mostraram que, através de métodos adequados, esses problemas são passíveis de solução. Aplicação de calor é basicamente empregado para a eliminação desses fatores indesejáveis (POMERANZ et al., 1970b; ROTHE et al., 1967; ROTHE, 1963; LUSENA, Mc FARLENE, 1945).

Acredita-se que o processo de extrusão termoplástica seja indicado para o preparo do germe de trigo destinado à alimentação humana. O tratamento térmico por que passa o alimento em extrusão é dado segundo High Temperature Short Time (HT/ST), o qual contribui para o cozimento de proteínas vegetais praticamente sem alterar sua qualidade nutricional, as vitaminas são mais preservadas, propicia a inativação de fatores antinutricionais e enzimas, exerce controle bacteriológico, promovendo a esterilização ou pasteurização do alimento (EL-DASH, 1982).

Com a finalidade de ampliar as possibilidades do aproveitamento do germe de trigo na alimentação humana, o presente trabalho definiu os seguintes objetivos:

- avaliação das características tecnológicas em função de temperatura de extrusão, umidade da matéria-prima, teor de amido e açúcar nos produtos extrusados à base de germe de trigo;
- efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na qualidade nutricional de germe de trigo extrusado;
- efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na estabilidade do germe de trigo extrusado durante o armazenamento.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre os cereais empregados na alimentação humana, sem dúvida, destaca-se o trigo, por estar sempre presente, quer na forma de pão, macarrão, biscoitos, massas e bolos, ou na forma de farinha, utilizada como ingrediente doméstico na elaboração de inúmeros pratos.

Para atender à demanda de consumo de trigo no Brasil, o governo já exerceu diversas formas de influência, tanto na produção como na comercialização desse cereal. Um breve passado da disponibilidade interna do trigo para consumo humano pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1: Estimativa da disponibilidade interna de trigo para consumo humano (toneladas)

Especificação	1986	1987	1988	1989	1990
Produção	4.320.267	5.689.680	6.034.586	5.737.971	5.552.841
Importação	3.221.811	3.937.373	1.344.780	1.868.387	2.655.627
Exportação	1.604	1.719	2.387	820	9
Consumo não- humano	602.439	630.074	648.485	615.041	545.740
Sementes	386.426	345.590	346.756	328.142	268.098
Perdas	216.013	284.484	301.729	286.899	277.642
Disponibili- dade interna para consumo humano	6.938.035	8.995.260	6.728.494	6.990.497	7.662.719

Fonte: FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 1991

A. GERME DE TRIGO

O germe é uma parte separada e distinta do grão de trigo. Parcialmente embutido no endosperma, ele se localiza na base do grão. Linhas naturais existem separando o germe do endosperma e da casca. De fato o germe e o endosperma estão em

contato íntimo com uma camada cimentando a união. Umedecendo o grão pode ajudar no enfraquecimento dessa camada entre as duas estruturas e facilitar sua separação (SHURPALEKAR, RAO, 1977).

Durante o processo de moagem do grão é desejável a separação do germe por inteiro por dois motivos, evitar incorporação do germe à farinha, pois isto comprometeria sua qualidade tecnológica, e manter suas estruturas celulares íntegras, evitando deterioração precoce (BARNES, 1980).

O germe de trigo é composto de três partes principais, o embrião, que dará origem a raiz primária, o escutellum que representa papel fundamental no curso da germinação do grão e da formação da nova planta, visto que é intermediário na transformação e transporte das substâncias de reserva e o epiplasto de menor significância morfológica (SHURPALEKAR, RAO, 1977).

1. Composição química

Como porção germinativa da semente, o germe é o componente do grão de trigo de mais alto valor nutricional e uma fonte rica em proteínas, vitaminas, óleo e minerais.

A composição química do germe de trigo depende acima de tudo, de sua pureza, que por sua vez vai depender do processo de moagem do grão de trigo. Outras condições como variedade, idade e condições de armazenamento do trigo, condições agrotécnicas da cultura também contribuem para a variação da composição química do germe de trigo, que acaba se situando entre limites relativamente amplos (PROCHZCA, PRIHODOVA, 1978).

A composição química centesimal do germe de trigo pode ser vista na tabela 2.

2. Valor Nutricional

A proteína presente no germe é expressiva devido a quantidade, 24 a 36%, e se torna alvo de maior atenção devido sua composição em aminoácidos, reconhecida como de alto valor nutricional, e comparável em qualidade às proteínas de origem animal. Vale a pena ressaltar a superioridade da proteína do germe de trigo quanto ao seu conteúdo em lisina sobre aquelas provenientes de cereais, que em geral, apresentam

deficiência nesse aminoácido essencial. As proteínas do germe de trigo são facilmente digeridas e mais nutritivas do que aquelas da farinha de trigo (SCHMITT, 1973).

Tabela 2: Composição química centesimal do germe de trigo (g/100g de matéria seca)

Componentes	Germe de trigo		
	(a)	(b)	(c)
Proteína (N x 6,25)	19,8-40,0	24,5-28,1	24,2-36,8
Lipídios	5,6-17,0	7,3-12,1	6,6-12,6
Cinzas	3,3- 5,5	3,9- 4,9	4,4- 5,7
Fibra	-	2,7- 4,6	2,0- 2,9
Carboidratos totais*	20,7-59,0	-	38,5-51,7

* dado por diferença

a - GREWE, Le CLERC, (1943)

b - FARREL et al, (1967)

c - KENT-JONES and AMOS (1967)

Uma análise da proteína do germe com gel-eletroforese demonstrou que ela não contém glúten, isto é glutenina e gliadina. Esta última pode causar transtornos da digestão. Um valioso componente do germe são as albuminas ou leucosina presentes no germe em até 10% e contém, aproximadamente, 11% de leucina. Estão também presentes hemoproteínas, nucleoprotídeos e componentes de cadeia curta (peptídeos e polipeptídeos) entre os quais o tripeptídeo glutatona, um ativador das enzimas proteolíticas, ou seja, um protetor dos grupos funcionais sulfidrilas (SCHMITT, 1973).

Para efeito de comparação na tabela 3 são apresentadas as composições em aminoácidos das proteínas de germe de trigo, farinha de trigo e glúten.

Tem sido reportado que a composição em aminoácidos da proteína do germe de trigo torna-o comparável àquela do ovo, o que indica um bom balanço de aminoácidos (SCHMITT, 1973).

Tabela 3: Composição de aminoácidos do germe de trigo, farinha de trigo e glúten (g/100 g de aminoácido) (a)

Aminoácido	Germe de trigo	Glúten	Farinha de trigo
Lisina	7,76	1,53	1,78
Histidina	2,65	1,77	1,82
Amônia	1,71	3,33	3,01
Arginina	8,86	3,14	3,23
Ác. aspártico	10,21	3,05	3,81
Treonina	4,82	2,36	2,31
Serina	4,62	4,18	4,43
Ác. glutâmico	15,45	39,30	37,19
Prolina	4,37	11,49	11,55
Glicina	6,54	3,03	3,37
Alanina	7,00	2,37	2,87
Cistina	0,66	1,61	1,44
Valina	5,65	3,58	3,99
Metionina	1,88	1,45	1,45
Isoleucina	3,91	3,51	3,80
Leucina	6,79	6,31	6,64
Tirosina	3,12	3,30	2,15
Fenilalanina	4,07	4,68	5,16

(a) POMERANZ et al. (1970)

O valor nutricional do germe de trigo, por métodos biológicos, foi estudado por diversos autores, JONES, WIDNESS (1946) encontraram um valor de PER para o germe de trigo igual ao do leite em pó integral. HOVE et al. (1945) encontraram valores de PER para os produtos da moagem do trigo onde o grão inteiro apresentou 1,40, a farinha 0,84 e o germe 2,87, muito próximo ao do leite em pó desnatado de 2,84. SUMMER et al. (1968) encontraram um PER de 3,06 e NPU de 58,8 para nove amostras de germe.

O germe de trigo por suas propriedades nutricionais é indicado também como suplemento de dietas.

HOVE, HARREL (1943) verificaram um aumento de PER, em rações à base de

glúten, de 0,43 para 2,12 e 2,38 quando 25% do glúten foi substituído por germe e a caseína, respectivamente.

Outros estudos investigaram o efeito do tratamento térmico sobre o valor nutricional das proteínas do germe, pois tem-se demonstrado que aplicação de calor pode contribuir para a estabilidade do germe, bem como na inativação de fatores do tipo antitripsina, hemaglutenina e enzimas indesejáveis (KUMAR et al., 1980, RAO et al., 1980).

Estudando o efeito do tratamento térmico no germe de trigo, KUMAR et al. (1980) obtiveram os seguintes resultados para PER:

Tratamento	PER
Cru (sem tratamento)	2,47
Vapor	2,84
Tostado	2,64
Drum-dryer	2,55

OLSEN (1967) demonstrou, através de valores de PER, a dependência das propriedades nutricionais do germe de trigo quanto à severidade do tratamento térmico. Os tratamentos térmicos constituíam de tostagem em drum-dryer (121°C/45 min) e autoclavagem do produto a 121°C por 20, 45 e 90 minutos. Soja foi incluída para comparação. Os resultados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Efeito do tratamento térmico no valor nutricional da proteína do germe de trigo^b

Dieta	PER
Soja	3,40
GT ^a cru	3,50
GT tostado	2,84
GT autoclavado/20 min	3,12
GT autoclavado/45 min	2,37
GT autoclavado/90 min	1,00

^a GT - germe de trigo

^b valores são médias de 6 ratos por grupo, duração do experimento 7 dias

OLSEN (1967) também encontrou que somente a lisina e arginina tiveram seus valores afetados significativamente devido ao tratamento térmico. O conteúdo de arginina decresceu de 7% para a amostra tostada e a autoclavada/20 min e de 12% e 27% para as amostras autoclavadas por 45 e 90 min, respectivamente. A perda de lisina foi de 12% para a amostra tostada e de 16%, 25% e 42% para as amostras autoclavadas por 20, 45 e 90 min.

MORAN et al. (1968) em seus experimentos com crescimento de pintinhos alimentados por rações de germe de trigo encontrou uma melhora na qualidade da proteína após tostagem. Entretanto autoclavando por mais de 20 min. a 121°C reduz o NPU (utilização líquida de proteína) a valores abaixo daqueles observados para o germe cru.

Os resultados dos experimentos de MORAN et al. (1968) podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5: Crescimento e utilização líquida de proteína por pintinhos alimentados com germe de trigo tratado termicamente

Tratamento térmico	Peso ganho/ração consumida	Utilização líquida de proteína
Germe de trigo cru	0,35	47,7
tostado (drum-dryer, 121°C)	0,38	53,0
Autoclavado a 121°C		
20 min	0,33	48,4
45 min	0,29	43,9
90 min	0,13	32,9
^a ISP	0,42	59,4

^aISP = isolado protéico de soja

A diferença observada na qualidade do germe tostado e autoclavado foi reportada devido ao teor de umidade, o qual pode afetar tanto o grau de desnaturação como a taxa de escurecimento (reação de Maillard), inviabilizando a utilização de certos aminoácidos. A superioridade do germe tostado sobre o autoclavado por mais de

20 min. foi atribuída ao baixo teor de umidade do germe tostado bem como pela remoção da umidade durante o processo de tostagem. A desnaturação ocorrida na tostagem pareceu ser suficiente para melhorar a digestibilidade, não chegando ao ponto de destruir aminoácidos limitantes. O baixo valor nutritivo das amostras autoclavadas explica-se pela grande destruição de lisina e arginina na presença de umidade. Umidade provavelmente facilitou a reação de escurecimento de aminoácidos com açúcares livres (reação de Maillard) (MORAN et al., 1968).

O efeito do tratamento térmico do germe de trigo foi investigado também sobre a atividade de antitripsina e hemaglutinina, fatores considerados antinutricionais.

CREEK, VASAITIS (1962) isolaram do germe de trigo cru um fator hidrossolúvel que inibia a digestão enzimática de proteína. Esse fator era termolábil e muito semelhante ao fator antitripsina encontrado na soja crua.

A presença de atividade de hemaglutinina e antitripsina em germe cru foi detectada por MORAN et al. (1968). Para o germe tostado foram encontrados traços de atividade de hemaglutinina e antitripsina. Já para os germes autoclavados (pressão de 15 psig. por 20, 45 e 90 min.), os valores desses fatores tóxicos foram reduzidos a zero.

ATTIA, CREEK (1965) concluíram, em seus estudos, que ração à base de germe cru limitou o crescimento e interferiu na absorção de gordura, de modo similar à soja crua a qual contém hemaglutinina e antitripsina. Encontraram 2500 unidades de hemaglutinina em sangue de coelhos e 5000 unidades em sangue de pintinhos por grama de germe. Observaram também hipertrofia pancreática do fígado. Entretanto, com a autoclavagem, essas propriedades detrimenais do germe de trigo foram superadas.

Por outro lado, OLSEN (1967) não encontrou componentes tóxicos no germe de trigo cru e concluiu que o alto valor nutricional foi reduzido pelo tratamento térmico.

Pelo exposto, parece ser possível um tratamento térmico no germe de trigo em condições tais que propicie inativação de fatores tóxicos, melhore a digestibilidade de proteínas sem ultrapassar o ponto em que a intensidade do calor começa a afetar negativamente seu valor nutricional.

A gordura do germe de trigo presente em quantidade razoável é um componente importante pela sua composição em ácidos graxos essenciais. Por outro lado, ela tem sido responsável, juntamente com a presença de enzimas, pela frágil estabilidade do germe.

A alta proporção de ácido linoléico sugere que a gordura do germe de trigo pode ser particularmente susceptível a rancidez oxidativa.

SULLIVAN, BAILEY (1936) encontraram a seguinte composição de ácidos graxos insaturados no germe de trigo:

Total de ácidos graxos insaturados :	84,00%
ácido α -linolênico	1,83%
ácido β -linolênico	1,72%
ácido α -linoléico	22,32%
ácido β -linoléico	29,99%
ácido oléico (por diferença)	28,14%

O ácido palmítico representa 7,35% dos ácidos graxos saturados.

Outros resultados da composição da gordura do germe são mostrados na tabela 6.

Tabela 6: Composição em ácidos graxos da gordura do germe de trigo

Ácido graxo	% da gordura total ^(a)	% da gordura total ^(b)	% da gordura total ^(c)
Miriástico (C-14:0)	traços	-	-
Palmítico (C-16:0)	18,5	20,03	18,0
Palmitoléico (C-16:1)	0,7	0,30	-
Esteárico (C-18:0)	0,4	0,30	-
Oléico (C-18:1)	17,3	16,68	17,0
Linoléico (C-18:2)	57,0	56,00	57,0
Linolênico (C-18:3)	5,2	5,05	7,0
Araquínodónico (C-20:0)	traços	2,06	-
Outros	0,8	-	-

^a NELSON et al. (1963) ^b MORUZZI et al. (1969) ^c BARNES (1982)

Na fração dos insaponificáveis da gordura do germe está presente uma grande quantidade de tocoferóis (vitamina E). BARNES (1982) determinou tocoferóis em germe de trigo encontrando 20,4 mg/100 g de α -tocoferóis e 11,8 de β -tocoferóis. Os

δ-tocoferóis e os tocotrienóis não foram detectados. Em adição a sua significância nutricional os α-tocoferóis, podem comportar-se como antioxidantes. Outros autores reportaram valores para tocoferóis no germe, numa média de 33,2mg/100g (SHURPALEKAR, RAO, 1977). A presença de vitamina E juntamente com outras do grupo B fazem do germe de trigo uma rica fonte desses nutrientes.

CALHOUN et al. (1960) encontraram os seguintes valores de vitaminas no germe de trigo:

Tiamina	1350 µg/100 g
Riboflavina	487 µg/100 g
Niacina	4530 µg/100 g
Ácido pantotênico	1040 µg/100 g
Ácido fólico	205 µg/100 g

Para efeito de comparação e avaliação do potencial vitamínico do germe de trigo a tabela 7 mostra suas principais vitaminas e de outros alimentos.

Tabela 7: Principais vitaminas do germe de trigo e outros alimentos

Vitaminas (µg/100g)	Germe de trigo (a)	Farinha* de trigo (b)	Leite em pó desnatado (a)	Ovo inteiro cru (a)	Carne de boi magra (a)
Tiamina (B ₁)	1.450	260	420	90	70
Riboflavina	610	60	1.600	470	240
Ác. Nicotínico	5.800	890	1.200	70	5.200
Piridoxina (B ₆)	950	280	250	110	320
Ác. Pantotênico	1.700	630	3.500	1.800	700
Total Ác. Fólico	330	22	21	25	10
Vitamina E	11.000	2.400	traços	1.600	150

* Farinha de trigo, teor de cinza: 0,69%

(a) Barnes, 1980

(b) Food Composition and Nutrition tables 1981/82 - Stuttgart, Wissenschaftlich Verlagsgesellschaft 1981, 732 pg.

3. Estabilidade

O germe de trigo contém razoável quantidade de gordura, predominantemente insaturada, proteína e diversas enzimas hidrolíticas e oxidativas. É natural, portanto, esperar que mudanças ocorram nesse laboratório natural. De fato, o germe de trigo apresenta uma forte tendência à rancidez. A causa primária dessa rancidez é devido à presença de enzima lipoxigenases e lipases, estas últimas produtoras de ácidos graxos livres, os quais, como já foi mencionado, são de natureza insaturada (SHURPALEKAR, RAO, 1977).

A lipoxidase catalisa a oxigenação do ácido linolêico e de outros ácidos graxos com sistema cis-cis-4-pentadieno, formando monohidroperóxidos conjugados como produto primário (NICOLA et al., 1982).

YAKOVENKO (1961) encontrou correlação entre atividade de lipoxidase e o desenvolvimento de odor de ranço no germe.

De acordo com ROTHE, STOECKEL (1962) e ROTHE (1963) a atividade de lipase e lipoxidase foram responsáveis pelo desenvolvimento de odor de ranço durante a estocagem do germe. A estabilidade do germe foi melhorada pela redução da atividade de lipase e lipoxidase. Mais tarde ROTHE et al. (1967) concluíram que a oxidação era a principal razão do desenvolvimento de rancidez no germe. De acordo com eles a gordura é convertida a hidroperóxidos seja por autooxidação ou por oxidação enzimática, devido a lipoxidase. Os hidroperóxidos contribuem para oxidação dando origem a compostos carbonílicos que conferem o odor característico de ranço ou até compostos polimerizados, aos quais é atribuído o sabor amargo.

As pesquisas para melhorar a frágil estabilidade do germe de trigo levaram a estudos de condições para inativação das enzimas, ou criando condições desfavoráveis para a atividade enzimática.

LUSENA, Mc FARLANE (1945) estudaram o efeito do calor no germe a vários níveis de umidade por 1,5h e 12h a 100°C. As amostras foram estocadas a 37°C. Avaliadas quanto à atividade enzimática da lipoxidase, esta foi ausente para todos os tratamentos térmicos, embora os níveis de peróxido para amostra tratada por 12 h e umidade de 0,9% foi de 43 e 60 meg/kg de óleo, estocados em atmosfera de ar e nitrogênio, respectivamente. Para 1,5 h e 10% de umidade atingiu 20,3 e 23,4 meg/kg de óleo (em atmosfera de ar e nitrogênio, respectivamente). A atividade de enzima na amostra controle, sem tratamento térmico, umidade de 11,1%, mostrou um menor aumento no peróxido 16,0 e 14,3 meg/kg (estocada em atmosfera de ar e nitrogênio,

respectivamente) , quando comparado com as amostras tratadas. Todas as amostras desenvolveram forte odor de ranço em 5 semanas de estocagem.

ROTHER (1963) investigou a possibilidade de estabilização do germe de trigo inativando enzimas por tratamento térmico ou por secagem, criando condições desfavoráveis para atividade da enzima. Ele encontrou que para amostra a uma mesma temperatura, diminuindo a umidade, diminuiu a atividade da enzima lipase e para amostra com mesmo teor de umidade a atividade da lipase decresceu com o aumento da temperatura. Por uma simples técnica de secagem ROTHER (1963) reportou que a atividade de lipase de 100% observada para amostra de germe com 26,5% de umidade, decresceu com o decréscimo da umidade até que nenhuma atividade foi observada com teor de umidade reduzido a 4%. A temperatura do ar seco foi de 35°C.

Outras técnicas para melhorar a estabilidade do germe como tratamento com 1,2-dicloroetano, com composto epoxi e com adição de antioxidantes foram também estudadas.

B. APROVEITAMENTO DO GERME DE TRIGO

O germe, como mencionado anteriormente, representa cerca de 2 a 3% do peso total de grão de trigo e aparece como um subproduto no processo de moagem. O consumo de trigo no Brasil em 1990 foi da ordem de sete milhões de toneladas (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 1991) o que pode chegar a fornecer cerca de 200 mil toneladas de germe. Sabendo-se que o germe contém em média vinte e cinco por cento de proteína de excelente qualidade, isso significa cinquenta mil toneladas de proteína.

Surpreendentemente, essa quantidade de matéria-prima, reconhecidamente nobre por seus atributos nutricionais, tem sido quase que totalmente destinada ao preparo de rações para animais e aves.

Dentro da recém criada classe de alimentos naturais, o germe de trigo vem sendo consumido na alimentação humana em pequenas quantidades, principalmente na forma de germe torrado.

Seria mais racional, que diante da escassez e elevado custo dos produtos protéicos e dos altos graus de desnutrição nos países em desenvolvimento o germe de trigo fosse consumido massivamente na alimentação humana.

É bem verdade que o germe de trigo apresenta certos impasses para sua utilização como alimento, quer pela presença de materiais deletérios ao organismo, como hemaglutinina e antitripsinas, ou pela sua pobre estabilidade na estocagem.

No entanto, muitos pesquisadores tem procurado alternativas para viabilizar a utilização do germe de trigo na alimentação humana.

Pelo arraigado hábito da maioria dos povos em consumir pães e biscoitos de farinha de trigo, diversos trabalhos foram conduzidos no sentido de adicionar germe na fabricação desses produtos.

Foi constatado que o germe cru adicionado diretamente à massa de fabricação do pão, causa certos efeitos indesejáveis, tanto nas características da massa como na qualidade do pão. Esses efeitos são mais notáveis com o aumento da quantidade do germe adicionado (SHURPALEKAR, RAO, 1977).

Resultados positivos foram encontrados quando da adição do germe tratado seja por aplicação de calor, pré-fermentação, maceração, extração de gordura ou por métodos químicos e adição de bromato de potássio ou lipídios polares (HULLETT, STERN, 1941; ROTHE, STOECKEL, 1962; GODUNOVA et al., 1984; POMERANZ et al., 1970b; APPELT, 1986).

POMERANZ et al. (1970b) desenvolveu um extenso trabalho sobre a adição de germe de trigo no pão, onde demonstrou que é possível a utilização do germe tratado a 80°C por 8h e desengordurado por duas vezes após secagem e moagem, até níveis de 15%, incorporando à massa aditivos como bromato e lipídios polares (lecitina).

O efeito da incorporação de 5, 10, 15 e 20% de germe cru, tostado, aquecido por calor úmido, e desengordurado, nas características da massa bem como na qualidade final de pães e biscoitos foi estudado por RANGA RAO et al. (1980). Eles verificaram que absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, e estabilidade da massa decresceram com o nível de germe adicionado, principalmente para o germe cru. Obtiveram biscoitos com qualidade satisfatória até nível de 20% de germe cru ou tratado com vapor. Com a adição de 5% de germe cru ou dos diversos tratamentos obtiveram pães de boa qualidade. Com adição de 60 ppm de bromato de potássio e 0,6% de Estearoil-lactil-lactato de sódio pôde ser usado até 15% de germe (cru ou aquecido por calor úmido), na massa do pão.

Como suplemento de valor nutricional, o germe de trigo pode ser empregado nas inúmeras composições que vem surgindo de produtos a base de cereais, consumidos principalmente em refeições matinais, ou na forma de produto farináceo usado como coadjuvante de vários alimentos como frutas e leite.

Outros trabalhos reportam a utilização do germe de trigo para o preparo de alimentos fermentados, concentrados vitamínicos, extração do óleo para fins comestíveis e como cosméticos. (SHURPALEKAR, RAO, 1977).

Pelo exposto, fica claro que é possível, através de pré-tratamento do germe de trigo, adequá-lo para utilização na alimentação humana.

Como alternativa para o pré-tratamento do germe de trigo o processo de extrusão seria indicado, devido ao tipo de tratamento térmico "High Temperature Short" Time" (HTST) e pela grande variedade de produtos, em forma, textura e propriedades tecnológicas que poderiam ser obtidos.

C. EXTRUSÃO

1. Considerações Gerais

O processo de extrusão em alimentos tem sido praticado nos últimos 50 anos. Inicialmente empregado para mistura e formato na fabricação de macarrão. Atualmente, a extrusão de alimentos é considerado um bioreator com aplicação de calor do tipo alta temperatura tempo curto (HTST), que transforma uma variedade de matéria-prima em produto intermediário ou finais totalmente modificados (HARPER, 1989).

Os ímpetus desse desenvolvimento foram as crescentes exigências na fabricação do alimento, quer no aspecto e qualidade, como inovação de produtos, utilização de ingredientes não convencionais, processos contínuos, eficiência energética, etc..

O extrusor de rosca única foi desenvolvido nos anos 40, permitindo um processo contínuo onde os materiais processados estão sujeitos à ação combinada de atrito, calor e pressão, plastificando-os e reestruturando-os para criar produtos com novas características de textura e formato. (EL-DASH, 1982)

A crescente demanda por cereais e amidos pré-cozidos e a economia de escala exigiu máquinas de altas capacidades. De encontro a essa necessidade, extrusores com capacidade de até cinco toneladas por hora foram construídos e postos em funcionamento nos anos 60.

Os anos 70 viveram o refinamento do processo de extrusão ampliando ainda mais sua potencialidade como processo. Nessa época foi desenvolvido o extrusor de rosca dupla que pela sua variada capacidade operacional contribuiu ainda mais para extensa gama de produtos obtidos a partir do processo de extrusão (HARPER, 1989).

Além da versatilidade que oferece o processo de extrusão quanto à variedade de produtos, outras vantagens podem ser atribuídas a ele.

Trata-se de um processo contínuo, com pouco ou nenhum resíduo. É considerado de baixo custo em comparação com outros processos de cocção, pois converte eficientemente a energia elétrica em energia térmica. Os requerimentos de mão-de-obra e espaço por unidade de produção são menores. Através do tratamento térmico (HTST) pode ser controlada a inativação de enzimas e fatores antinutricionais bem como a pasteurização ou esterilização do produto (EL-DASH, 1982).

2. Equipamento

A máquina extrusora permite uma enorme variação quanto aos aspectos mecânicos e operacionais, utilização de acessórios, variações de desenho, composição de parafusos (ou rosca) e outros. Esses aspectos bem como modelamento matemático e relação das diferentes variáveis do processo de extrusão foram revistos nos trabalhos de OLKKU et al. (1980), EERIKÄINEN, LINKO (1989), JANSSEN (1989) e EL-DASH (1982).

Independente desses aspectos mencionados um extrusor de cozimento é constituído basicamente das seguintes partes: alimentador, parafuso (ou rosca), cilindro encamisado e matriz.

A geometria e a terminologia de um extrusor de parafuso único estão ilustrados na figura 1.

O alimentador deve ser equipado com uma rosca e ou vibrador para fornecer uma alimentação constante e contínua ao extrusor.

Em extrusor termoplástico (de cozimento), o cilindro possui ranhuras na parte interna para evitar o deslizamento da massa, aumentando assim a taxa de cisalhamento. Normalmente, o cilindro é encamisado permitindo a circulação de vapor ou água fria.

O parafuso ou rosca é a parte central e principal do equipamento. exerce grande influência no processo segundo a sua geometria. O parafuso pode ser dividido em tres zonas: zona de alimentação, de transição e de alta pressão, definida pela relação de redução do diâmetro da rosca da zona de alimentação para a de alta pressão, que pode variar de 1:1 até 1:5.

A matriz do extrusor pode ter variadas configurações, e além de moldar o produto na forma desejada ela funciona como um restritor de fluxo, mantendo a pressão na zona de cocção.

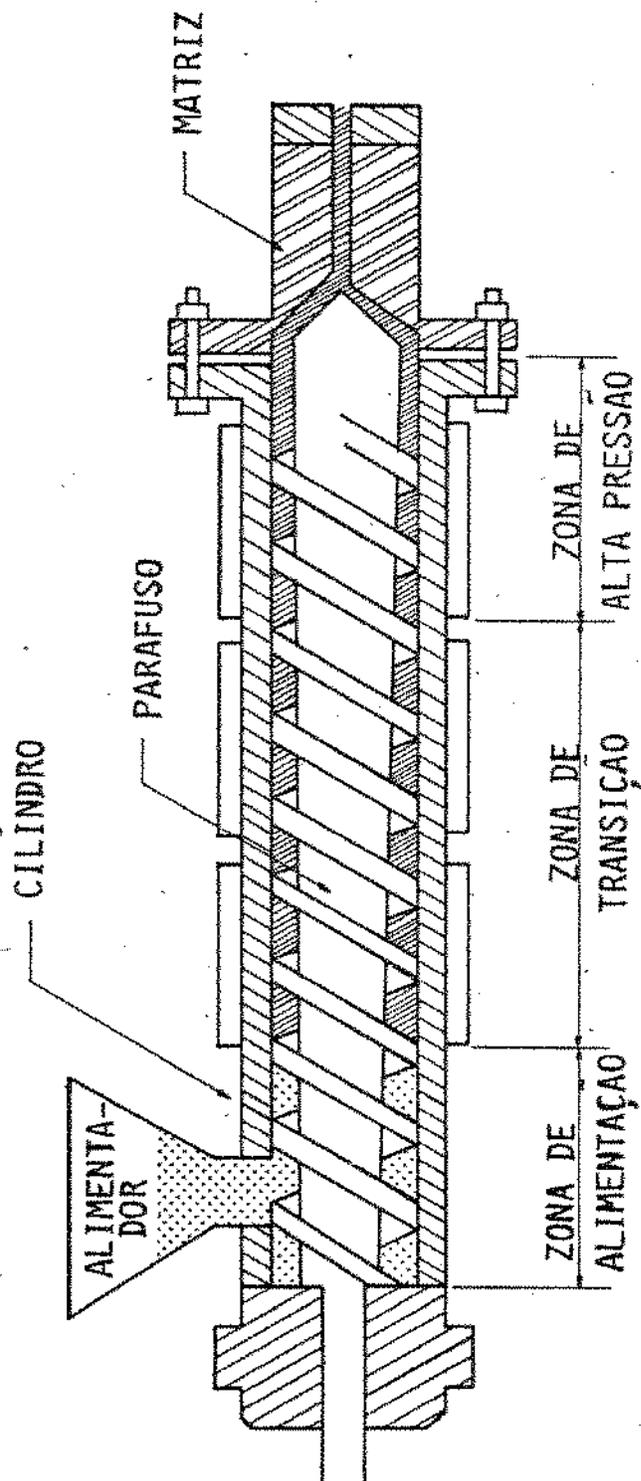


Figura 1. Diagrama de um extrusor de cozimento.

3. Processo de extrusão

A extrusão de alimentos é definido como um processo contínuo no qual um parafuso giratório, firmemente encaixado dentro de um cilindro empurra o alimento na direção da matriz sob uma ou mais condições de mistura, aquecimento, cisalhamento e pressão. O trabalho mecânico é combinado com calor para gelatinizar amido e desnaturar proteínas, plasticizando e reestruturando o material para criar novas texturas e formatos. Assim as três principais funções deste sistema são: cozinhar, estruturar e dar forma aos alimentos (ROSSEN, MILLER, 1973).

O material a ser extrusado é primeiro alimentado em um pré condicionador onde é tratado com água e/ou vapor para elevar a umidade até o teor desejado, em média de 15 a 35%.

O material já condicionado é introduzido no extrusor através do alimentador e cai na zona de alimentação. O material é recebido de forma constante, sendo comprimido e iniciado o seu transporte através do extrusor, onde começa a ser transformado em uma massa contínua. Nesta zona a rosca apresenta maior passo ou profundidade.

Na zona de transição o material é transformado numa massa semiplástica através de uma cocção parcial. Isto ocorre devido à geometria do parafuso que se modifica gradualmente, através do decréscimo no passo da rosca, fazendo com que se aumentem a taxa de cisalhamento e a energia mecânica consumida, resultando em aumentos de temperatura (130-180°C) e pressão (20-50 atm).

Em seguida o material passa pela zona de pressão, onde atinge o grau de cocção desejado. Neste ponto, onde a rosca apresenta sua menor profundidade, a conversão de energia mecânica em energia térmica está em seu ponto máximo, a taxa de cisalhamento e a intensidade da mistura são drasticamente aumentadas, o aumento de temperatura é muito rápido. A massa nessas condições é forçada a passar através da matriz, quando ocorre uma expansão exotérmica pelo alívio brusco da pressão e o material adquire estruturas irreversíveis após o resfriamento.

O controle do processo de extrusão é bastante complexo devido a um grande número de variáveis que o afetam. Estas se relacionam com a engenharia do equipamento (desenho do parafuso e da matriz), com a matéria-prima (umidade e composição química) e com as condições operacionais (temperatura, velocidade do parafuso e fluxo de alimentação).

Uma técnica estatística adequada para estudo dos efeitos combinados dessas variáveis é a metodologia de superfície de resposta, como reportam os trabalhos de EL DASH et al. (1983), OWUSU, ANSAH et al. (1983) e MEUSER et al. (1982).

D. EFEITO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NA COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS

Pela complexa natureza dos sistemas alimentícios, várias alterações químicas e físicas podem ocorrer simultaneamente durante o processo de extrusão. Conseqüentemente, essas alterações podem afetar negativa ou positivamente o valor nutricional dos alimentos.

Dentro desse conceito serão revisados os efeitos do processo de extrusão sobre proteínas, amido, lipídeos, vitaminas e enzimas.

1. Proteínas

O valor nutricional de proteínas é dependente de sua digestibilidade bem como do nível de aminoácidos essenciais disponíveis.

Em geral, o processo de extrusão aumenta a digestibilidade de proteínas, principalmente pela inativação de fatores antinutricionais e, em segundo plano, pela desnaturação (ASP, BJÖRCK, 1989). As proteínas, na sua forma desnaturada, são mais susceptíveis ao ataque de enzimas proteolíticas.

Durante extrusão de farinha de soja integral pré-condicionada com calor seco, MUSTAKAS et al. (1970) observaram maior inativação do fator antitripsina com aumento de temperatura e conteúdo de umidade. À temperatura constante a inativação aumenta com o tempo de residência do produto e o conteúdo de umidade. Valor alto de PER como 2,15 (corrigido para valor de caseína de 2,5) foi alcançado com uma inativação de 89% do fator antitriptico. Esses valores foram obtidos com temperatura de 152°C, 20% de umidade e 2 minutos de tempo de residência. Na disponibilidade de lisina, expressa como porcentagem da proteína, eles encontraram valores de 6,1 a 6,4% para as farinhas extrusadas, enquanto que a farinha de soja original apresentou 6,5%.

Em condições mais severas de extrusão a digestibilidade e a disponibilidade de aminoácidos podem ser reduzidas. O principal mecanismo responsável é a reação de Maillard, levando a um decréscimo da disponibilidade de lisina em particular, pela

reação química desse aminoácido com açúcares redutores (BJÖRCK, ASP, 1983).

Tem sido relatado que em baixos conteúdos de umidade a retenção de lisina melhora. HARMUTH-HOENE et al. (1985) relataram que em extrusado de centeio integral, decrescendo o teor de umidade de 18 para 12% aumentou a utilização líquida de proteína (NPU) e o valor biológico (VB). BEAUFRAND et al. (1978) extrusando misturas de cereais encontraram uma redução da perda de lisina de 40 para 10%, quando o conteúdo de umidade diminuiu de 14 para 10%.

NOGUCHI et al. (1982) estudaram a retenção de lisina disponível, processando uma mistura de cereal e soja, contendo 20% de sacarose (Creusot-Loire BC 45, $T = 170-210^{\circ}\text{C}$, $\text{H}_2\text{O} = 13-18\%$, 40-80 rpm e $\text{Tr} = 60-71$ s). Dependendo das condições de extrusão a perda de lisina variou de 0 a 40%. Essa perda aumentou com o aumento de temperatura e decrescente conteúdo de umidade. Nenhum efeito da velocidade da rosca foi notado.

PHAN, DEL ROSARIO (1984) encontraram decréscimos de lisina disponível com aumento de conteúdo de umidade (extrusor de rosca única, $T = 193$ a 167°C , $\text{H}_2\text{O} = 30$ a 45% e 10-200 rpm). Esse estudo foi conduzido a um intervalo relativamente alto de umidades.

2. Amido

O amido é o carboidrato mais importante na dieta alimentar pela quantidade presente entre os carboidratos. A absorção de amido pelo organismo é mais lenta em relação a outros carboidratos, produzindo gradativa elevação de glicose no sangue com menor requerimento de insulina. Esse tipo de absorção contribui para uma sensação de satisfação alimentar mais prolongada (ASP, BJÖRCK, 1989).

O processo de extrusão pode influenciar a taxa de digestão e absorção do amido através da gelatinização, deixando-o prontamente disponível para a degradação com amilose, ou pela formação do complexo amilose-lipídeo.

Segundo HOLM et al. (1983) o complexo amilose-lipídeo mostra baixa susceptibilidade ao ataque de amilase *in vitro*. Os mesmos autores mostraram, em estudos com ratos, que complexos de amilose de batata com lisolecitina de ovo produziram respostas glicêmicas significativamente menores do que a dieta com amilose livre. Pode ser assumido que a formação de complexo amilose-lipídeo, durante o processo de extrusão, pode diminuir a taxa de digestão e absorção de amido *in vivo*.

No entanto, em estudos com produtos extrusados e seus correspondentes cozidos ou assados, maior resposta glicêmica foi obtida para os extrusados, indicando que outros fatores facilitando a digestão do amido, como a desintegração da estrutura celular e granular, e solubilização do amido são de maior importância nesse aspecto do que a formação desses complexos (BJÖRCK et al., 1986, HAGANDER et al., 1985).

Nesse sentido BJÖRCK et al. (1984) investigou o comportamento fisiológico do amido extrusado da farinha de trigo e da farinha de trigo integral. Amostras fervidas por 20 min serviram como controle. Quando dado a ratos, as farinhas processadas em condições severas de extrusão apresentaram níveis de insulina e glicose no plasma mais alto do que as amostras fervidas e as extrusadas sob condições mais brandas. Assim, as condições do tratamento influenciaram a resposta fisiológica, embora todas as amostras tenham se apresentado totalmente gelatinizadas.

Gelatinização de amido foi estudada por CHIANG, JOHNSON (1977), quando observaram que aumento na temperatura de extrusão resultou em alto grau de gelatinização. Um aumento no teor de umidade da farinha de trigo teve um efeito positivo a altas temperaturas. Aumento na velocidade da rosca e diâmetro da matriz, reduzem a gelatinização. Completa gelatinização foi obtida a 110°C e 24 ou 27% de umidade.

OWUSU et al. (1983), com auxílio de metodologia de superfície de resposta, estudaram o efeito das variáveis: temperatura, umidade e velocidade da rosca na gelatinização de amido de milho extrusado. Os autores observaram que, o grau de gelatinização foi influenciado pela interação temperatura-umidade seguida de temperatura, umidade e velocidade da rosca. O máximo grau de gelatinização obtido ocorreu com valores de temperatura mais baixa (100°C) e maior teor de umidade (23%) a uma velocidade de rosca de 90 rpm. Entretanto, os menores valores de gelatinização foram observados com o emprego da mesma temperatura, porém com uma redução no teor de umidade (11%). Uma combinação de tratamento térmico e atrito mecânico pode esclarecer a gelatinização do amido.

A alta disponibilidade do amido ao ataque de amilase em produtos extrusados, devido a gelatinização, pode ser uma vantagem para crianças novas com função pancreática ainda imatura, porém a conversão do amido em carboidrato do tipo "rápido" (rápida digestão e absorção) pode ser considerado como desvantagem, a importância nutricional vai depender do tipo de produto e a finalidade a que se destina.

3. Lipídeos

Durante o processo de extrusão, o valor nutricional de lipídeos pode ser afetado por mecanismos como oxidação e isomerização cis-trans.

Os ácidos graxos, linoléico, linolênico e araquidônico ao serem oxidados perdem seu valor nutricional como ácido graxo essencial. O mesmo comentário é válido quando os mesmos passam para a forma trans, por isomerização (BJÖRCK, ASP, 1983).

Um decréscimo na taxa de ácidos graxos insaturados para saturados e pequeno aumento em ácidos graxos na forma trans foi relatado por MAGA (1978). Porém, essas mudanças foram tão pequenas que não chegaram a ter significância nutricional.

Com a oxidação de lipídeos, além da perda de ácidos graxos essenciais, a qualidade organoléptica bem como a vida-de-prateleira do produto ficam prejudicadas.

MUSTAKAS et al. (1970) examinaram o efeito do tempo de retenção, umidade e temperatura no valor de índice de peróxido em extrusados de farinha de soja integral, estocada a 25°C no escuro por um ano. Os maiores índices de peróxido foram encontrados nas amostras extrusadas a altos níveis de umidade, temperatura e tempo de retenção. Embora, usualmente, o índice de peróxido não seja um indicador seguro de vida-de-prateleira, os autores notaram que o pobre "flavor" após 12 meses estava associado a amostras com altos índices de peróxido.

Um decréscimo no conteúdo de gordura de produtos extrusados tem sido relatado por diversos autores. DELORT-LAVAL, MERCIER (1976) encontraram que no produto extrusado somente 40 a 55% do teor de gordura inicial foi possível recuperar em extração com éter dietil.

BJÖRCK, ASP (1983) e SCHWAIZER et al. (1986) também relataram baixos teores de gordura extraível em produtos extrusados, quando comparados com o material original. Esse fato não está bem explicado mas a formação do complexo amilose-lipídeo pode ser uma das razões.

4. Vitaminas

Vitaminas podem ser destruídas por mecanismos como calor e oxidação. Em processos convencionais como cocção em água em ebulição pode ocorrer perda de vitaminas hidrossolúveis por lixiviação (BJÖRCK, ASP, 1983).

A retenção de vitaminas durante a extrusão tem sido mais estudada no caso de tiamina, riboflavina e vitamina C.

BEETNER et al. (1974) estudaram o efeito da temperatura, umidade e velocidade da rosca em extrusão de "grits" de milho. Os resultados podem ser vistos na tabela 8.

Tabela 8: Retenção de tiamina e riboflavina em extrusão de "grits" de milho*

Temperatura da camisa (°C)	Umidade inicial (%)	Velocidade da rosca (rpm)	Retenção de tiamina (%)	Retenção de riboflavina (%)
149	16	75	90,1	87,0
149	13	125	60,9	100,0
193	13	75	47,8	125,6
193	16	125	19,0	53,6

* BEETNER et al. (1974)

No caso da tiamina, aumento na temperatura e velocidade da rosca, diminui sua retenção. Degradação da riboflavina aumentou com o aumento da umidade e da velocidade da rosca.

Esses dados indicam que aumentando o atrito (associado à maior velocidade da rosca) o efeito é negativo na retenção dessas vitaminas. Em todos os tratamentos, a riboflavina se mostrou mais estável que a tiamina.

Em processo convencional, tiamina é mais sensível ao calor enquanto riboflavina é comparativamente termo-estável (BEETNER et al., 1976).

Na extrusão de triticales a perda de tiamina e riboflavina foi substancial, 90% e 50% respectivamente (BEETNER et al., 1976). Perda de tiamina diminuiu com aumento do diâmetro da matriz e menores temperaturas. Para a riboflavina, um aumento na temperatura resultou em maior retenção. Esse efeito aparentemente benéfico do calor, pode ser devido a um decréscimo do atrito causado pelo próprio aumento da temperatura. Melhor estabilidade da riboflavina a temperaturas maiores foi também relatada por Harper et al. (1977). A 154°C a retenção de riboflavina em mistura de milho e soja extrusada, foi de 65-72%, enquanto que 95-100% de retenção foi alcançado a uma temperatura de 171°C.

Um decréscimo na estabilidade de tiamina foi verificado a baixos conteúdos de umidade por ANDERSON e HEDLUND em 1982, apud Björck, Asp (1983) na extrusão com

farinha de trigo. Eles utilizaram um extrusor Creusot-Loire nas condições: temperatura = 105- 200°C, umidade = 14-34% e taxa de alimentação = 250-750 g/min. A um teor de umidade de 14% a perda de tiamina foi substancial, 60 a 90%. Com altos teores de umidade a tiamina só foi afetada a 200°C. Dentro das condições empregadas, a umidade foi um fator mais importante que a temperatura. Em geral, alta taxa de alimentação melhorou a retenção. Niacina e riboflavina mostraram boa estabilidade nas condições do teste.

A niacina se mostrou estável durante extrusão (de MUELENAERE, BUZZARD, 1969). O ácido fólico mostrou relativa estabilidade e a piridoxina apresentou taxa de 90% de retenção durante processo de extrusão (JANSEN et al., 1978).

Pouco se sabe sobre a estabilidade das vitaminas D e E. As maiores perdas de vitamina E, encontradas por MUSTAKAS et al. (1970) durante extrusão de farinha de soja integral foi de 15%. APPELT (1986) reportou perdas de 50-66% de vitamina E em extrusão de produto enriquecido com germe de trigo. HÅKANSSON et al. (1987) estudaram o efeito de vários processos incluindo a extrusão, na retenção de vitamina E, tiamina e folacina em farinha de trigo. O processo de extrusão (T = 148-197°C, umidade = 14,6 a 24,6) foi muito detrimental para vitamina E, causando perdas de 79 a 89%. Tiamina apontou perdas de 42-58%, enquanto folacina foi mais estável, apresentando perdas de 20%.

SCHLUDE (1987) coletou dados sobre perdas de vitaminas de processos comerciais de extrusão, durante 2 anos, encontrando grandes intervalos de variações. Esses dados podem ser vistos na tabela 9.

Pela tabela 9, as vitaminas mais sensíveis durante a extrusão são A, E, C, B₁ e ácido fólico, enquanto B₂, B₆, B₁₂, niacina, pantotenato de cálcio e biotina são mais estáveis.

Tabela 9: Limites de variação para perda de vitaminas durante extrusão

Vitaminas	Límite de variação (%)
Vitamina A	12-88
Vitamina E	7-86
Vitamina C	0-87
Vitamina B ₁	6-62
Vitamina B ₂	0-40
Vitamina B ₆	4-44
Vitamina B ₁₂	1-40
Niacina	0-40
Ácido fólico	8-65
Pantotenato de cálcio	0-10
Biotina	3-26

5. Enzimas

Muitas enzimas, presentes nos alimentos, podem causar reações de deterioração durante estocagem se elas não forem inativadas. Reação enzimática pode alterar o gosto, a cor, o "flavor" e textura de alimentos. Lipase e lipoxidase podem causar alterações no "flavor", mesmo em alimentos de baixa umidade (CHEFTEL, 1989).

Inativação enzimática, durante o processo de extrusão, contribui para estabilidade e dilatação da vida-de-prateleira de produtos extrusados. O efeito da extrusão termoplástica na atividade residual de seis enzimas em trigo, centeio e aveia foi investigado por FRETZDORFF, SAILER (1987). Usaram um extrusor de duas roscas nas condições de temperatura 80, 90, 100, 172°C; umidade de 18- 29%; velocidade da rosca 150 ou 250 rpm. Puderam observar que, em geral, a inativação enzimática foi mais efetiva com incremento de temperatura. A lipase se mostrou a mais termoestável entre as enzimas estudadas, seguida pela α -amilase e peroxidase. Lipoxigenase se apresentou mais termolábil. A atividade residual de lipase foi menor a umidade de 29% do que a 18%, no entanto o contrário foi verdadeiro para α -amilase e peroxidase. Esses estudos indicaram que sob condições normais de extrusão de cereais

($T > 100^{\circ}\text{C}$ e umidade $< 30\%$) somente a lipase não foi totalmente inativada. Esses resultados não devem ser estendidos para produtos com altos níveis iniciais de enzima.

Diversos autores tem examinado parâmetros de extrusão para inativação de lipase em farelo de arroz. O farelo de arroz é uma fonte potencial para extração de óleo comestível, no entanto o rápido aumento de ácidos graxos livres pouco tempo após a colheita limita o seu uso. KIM et al. (1987), reportou estabilização de farelo de arroz a teores de umidade entre 9,5 e 15% à uma temperatura de descarga de 128°C (extrusor de construção própria de única rosca).

Na soja, imediatamente após a trituração, a lipoxidase catalisa a oxidação de ácidos graxos polinsaturados, resultando em odores de ranço e pobre estabilidade na estocagem. Nesse sentido, NOGUSHI em 1986 apud Cheftel (1989) conseguiu completa inativação de lipoxigenase em extrusores de única e dupla rosca à temperatura de 140°C , umidade de 20% e tempo de residência médio de 20 segundos.

III. MATERIAL E MÉTODOS

A. MATERIAL

1. Matéria-prima

Como matéria-prima foi utilizado germe de trigo, fornecido pelo moinho Brasway; amido de milho Anisol 3408 fornecido pela Refinações de milho Brasil e sacarose (açúcar refinado comercial).

O germe de trigo, recém extraído no moinho, foi condicionado em sacos plásticos e mantidos sob temperatura de -18°C .

2. Reagentes

Para as análises da matéria-prima e produtos foram usados reagentes com pureza analítica.

B. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

1. Delineamento experimental

a. Delineamento estatístico para estudo das características tecnológicas do germe de trigo extrusado

Para o processo de extrusão, o conteúdo de gordura presente no germe de trigo é bastante alto. A gordura exerce papel lubrificante, fazendo com que o material deslize dentro do extrusor. Por outro lado, a gordura do germe de trigo é rica em tocoferóis, que seriam eliminados se se procedesse a retirada da gordura. Dessa forma, ingredientes foram adicionados ao germe como diluentes, absorvendo e retendo a gordura durante a extrusão.

A nível exploratório foi realizada uma série de extrusões com germe de trigo puro, além de formulações adicionando açúcar, leite em pó e amido. Variou-se os teores de umidade, rotação da rosca e temperatura.

Diante dos produtos obtidos, optou-se por estudar quatro variáveis quais

sejam: umidade (U), temperatura (T), teor de amido (M) e teor de açúcar (C).

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 (COCHRAN, COX, 1964).

As variáveis foram examinadas em 3 níveis codificados como -1, 0, +1. Os valores reais correspondentes a esses níveis aparecem na tabela 10 e foram calculados de acordo com a seguinte equação:

$$x_1 = \frac{X_1 - \bar{X}_1}{\Delta X_1}$$

onde:

- x_1 = valor codificado da variável X_1
- X_1 = valor real da variável
- \bar{X}_1 = valor real da variável no ponto central
- ΔX_1 = intervalo de variação de X_1

Os valores máximo e mínimo de cada variável foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão e com base nos diversos ensaios preliminares.

O delineamento central composto de 2^a ordem, exigiu um número mínimo de 31 experimentos para $K = 4$ (quatro variáveis independentes) obedecendo às seguintes combinações de níveis de variáveis codificadas: 2^K fatoriais (combinam os níveis +1 e -1), 2K axiais (combinam + α ou - α com as outras em 0) e o restante com todas as variáveis no ponto central (nível 0). O valor de α é dependente do número de pontos do conjunto fatorial e é definido pela equação (BOX, WILSON, 1951):

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

onde:

- F: corresponde ao conjunto fatorial
- K: número de variáveis independentes

O desenho do delineamento está apresentado nas tabelas 11 e 12. Neste caso, as respostas (y) estudadas foram:

- índice de absorção de água (IAA)
- índice de solubilidade em água (ISA)
- densidade aparente
- taxa de expansão
- dureza
- cor

Tabela 10: Variáveis e níveis de variação (quatro variáveis)

Variáveis	Níveis de variação				
	$-\alpha$	-1	0	1	α
X_1 = umidade da matéria-prima (%)	15	17	19	21	23
X_2 = temperatura na 2 ^a e 3 ^a zona(°C)	90	120	150	180	210
X_3 = teor de amido (%)	25	30	35	40	45
X_4 = teor de açúcar (%)	0	4	8	12	16

$\alpha = 2$ para $K = 4$ (quatro variáveis independentes)

Tabela 11: Delineamento experimental composto rotacional para quatro variáveis em três níveis (valores codificados)

Experimento	Níveis das variáveis			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1
15	-1	1	1	1
16	1	1	1	1
17	$-\alpha$	0	0	0
18	α	0	0	0
19	0	$-\alpha$	0	0
20	0	α	0	0
21	0	0	$-\alpha$	0
22	0	0	α	0
23	0	0	0	$-\alpha$
24	0	0	0	α
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0

$\alpha = 2$, para $K = 4$ (quatro variáveis independentes)

Tabela 12: Delineamento experimental composto rotacional para as variáveis estudadas em três níveis (valores reais)

Experimento	Níveis das variáveis			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	17	120	30	4
2	21	120	30	4
3	17	180	30	4
4	21	180	30	4
5	17	120	40	4
6	21	120	40	4
7	17	180	40	4
8	21	180	40	4
9	17	120	30	12
10	21	120	30	12
11	17	180	30	12
12	21	180	30	12
13	17	120	40	12
14	21	120	40	12
15	17	180	40	12
16	21	180	40	12
17	15	150	35	8
18	23	150	35	8
19	19	90	35	8
20	19	210	35	8
21	19	150	25	8
22	19	150	45	8
23	19	150	35	0
24	19	150	35	16
25	19	150	35	8
26	19	150	35	8
27	19	150	35	8
28	19	150	35	8
29	19	150	35	8
30	19	150	35	8
31	19	150	35	8

X_1 = umidade da matéria-prima (%)

X_2 = temperatura de extrusão na 2^a e 3^a zona (°C)

X_3 = teor de amido (%)

X_4 = teor de açúcar (%)

- b. Delineamento estatístico para estudo da qualidade nutricional e estabilidade dos extrusados à base de germe de trigo

Para esse estudo foram consideradas duas variáveis independentes, quais sejam: umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão, estudados em 3 níveis. Neste caso, o delineamento estatístico proposto do tipo central composto rotacional de 2^a ordem requer um número mínimo de 11 experimentos, sendo 4 fatoriais (combinam os níveis -1 e +1), 4 axiais (uma variável no nível $-\alpha$ e α e a outra em 0) e 3 centrais (as duas variáveis no nível 0).

Os níveis das variáveis são apresentados na tabela 13 e o desenho experimental na tabela 14. Neste caso as respostas (y) estudadas foram:

- Digestibilidade aparente (Da)
- Valor biológico aparente (VBa)
- Utilização líquida aparente da proteína (NPUa)
- Quociente protéico líquido (NPR)
- Niacina (PP)
- Riboflavina (B₂)
- Tiamina (B₁)
- Pantetonato de cálcio (PantCa)
- Piridoxina (B₆)
- Vitamina E
- Índice de peróxido (IP)
- Índice de acidez (IA)

Tabela 13: Variáveis e níveis de variação (duas variáveis)

Variáveis	Níveis de variação				
	$-\alpha$	-1	0	1	α
X_1 = umidade da matéria-prima (%)	16,2	17	19	21	21,8
X_2 = temperatura na 2 ^a e 3 ^a zona (°C)	107,6	120	150	180	192,4

$\alpha = 1,414$ para $K = 2$ (duas variáveis independentes)

Tabela 14: Delineamento experimental composto rotacional para as variáveis estudadas (valores codificados e reais)

Experimento	Níveis das variáveis			
	x_1	x_2	X_3	X_4
1	-1	-1	17	120
2	1	-1	21	180
3	-1	1	17	120
4	1	1	21	180
5	$-\alpha$	0	16,2	150
6	α	0	21,8	150
7	0	$-\alpha$	19	108
8	0	α	19	192
9	0	0	19	150
10	0	0	19	150
11	0	0	19	150

x_1 e x_2 : correspondem aos valores codificados

X_3 e X_4 : correspondem aos valores reais

$\alpha = 1,414$ para $K = 2$ (duas variáveis independentes)

2. Métodos experimentais

a. Preparo da matéria-prima

A matéria-prima utilizada para a extrusão foi preparada a partir de: germe de trigo, açúcar e amido.

O cálculo das quantidades dos componentes foi baseado em 100g de matéria-prima em base seca.

Para tanto, foi determinado os teores de umidade dos componentes, bem como o teor de amido no germe de trigo e no amido de milho.

Para o estudo das características tecnológicas, os componentes, açúcar e amido, foram variáveis estudadas e, portanto, as quantidades adicionadas foram aquelas indicadas na tabela 12, sendo que, o amido foi adicionado em quantidade suficiente para atingir as porcentagens desejadas, considerando o teor de amido presente naturalmente no germe de trigo.

Para o estudo das variáveis operacionais de extrusão na qualidade nutricional do germe de trigo, foi preparada uma única mistura empregada em todos os ensaios de extrusão descritos na tabela 14. A mistura foi fixada em 35% de amido (considerando o amido presente naturalmente no germe) e 8% de açúcar.

As misturas foram homogeneizadas utilizando um misturador planetário Brabender, modelo 600. Foi mantida rotação de 50 rpm por 10 min.

Em seguida, a umidade foi determinada para se proceder ao condicionamento.

b. Condicionamento das misturas

As misturas preparadas anteriormente foram condicionadas para o nível desejado de umidade em um misturador planetário Brabender modelo 600. Adicionou-se por aspersão e lentamente, a quantidade de água requerida para cada teor de umidade.

O misturador foi mantido, a velocidade de 50 rpm até toda água ser adicionada, continuou-se a agitação por mais 10 min. a uma velocidade de 100 rpm.

Em seguida as amostras foram recolhidas em sacos plásticos e guardadas a temperatura ambiente por 24 horas. Após esse período, a umidade foi novamente determinada para confirmação do teor desejado.

A quantidade de água adicionada para cada amostra foi calculada pela seguinte relação:

$$A = \left(\frac{100 - U_i}{100 - U_f} - 1 \right) \times P.A$$

onde:

A = quantidade de água a ser adicionada (ml)

U_i = umidade inicial

U_f = umidade final

P.A. = peso da amostra a ser condicionada (g)

c. Extrusão das misturas

i. Equipamento

A extrusão das composições foi efetuada em extrusor de laboratório Brabender 20 D/N (19mm) de rosca única movido através do Brabender Do-Corder com motor D.C. de variação contínua de velocidade 0 a 350 rpm, constando dos seguintes acessórios e características:

- A camisa com ranhuras internas, longitudinais e retilíneas, apresenta três zonas distintas para temperatura. Essas zonas são aquecidas por resistência elétrica e a temperatura pode ser controlada pela presença de termopares localizados nas 3 diferentes zonas e ligados a um registrador. Outros dispositivos como circulação de água fria na 1^a zona e ar comprimido na 2^a e 3^a evitam elevações de temperatura, provocadas pelo atrito.

- O alimentador, acoplável à parte inicial e superior da camisa. Constituído de um cone em aço inox com um parafuso central, vertical de velocidade variável que permite manter um fluxo constante de material para o extrusor.

- A rosca sem fim, única, apresentando uma relação comprimento/diâmetro de 380/19 (mm/mm), com taxa de compressão 1:2 e passo unitário.

- Matriz, com abertura de diâmetros e formas diferentes, fixada na extremidade da camisa.

- Dinamômetro (Do-Corder) acoplado ao extrusor com velocidade de rotação regulável.

◦ Registrador ligado ao extrusor elabora gráficos de torque durante a extrusão.

ii. Determinação da vazão do alimentador

A vazão do alimentador permaneceu constante para cada amostra, e foi estabelecida de forma a fornecer 70 g da amostra/min. A vazão do alimentador é função da velocidade da rosca e da umidade da matéria-prima. Dessa forma, foi construído um gráfico para cada amostra, relacionando a velocidade do parafuso com a quantidade de material escoado por minuto. Isso foi feito com o misturador separado do extrusor. Para 5 diferentes velocidades coletou-se e pesou-se a vazão de 1 min. Cada experimento foi realizado em triplicata. A partir dos gráficos escolheu-se a velocidade correspondente a uma vazão de 70 g/min para cada amostra.

iii. Processamento

Para todos os experimentos manteve-se fixos os seguintes parâmetros operacionais do extrusor: velocidade da rosca de 80 rpm, rosca com taxa de compressão 1:2, diâmetro da matriz de 6 mm e taxa de alimentação de material de 70 g/min.

Cinco minutos após as temperaturas das zonas atingirem aquelas desejadas, 70°C para a 1ª zona em todos os experimentos e variadas para 2ª e 3ª zona, conforme delineamentos estatísticos (tabelas 12 e 14), foi iniciado o fornecimento de material tendo-se o cuidado de manter o nível de material no alimentador sempre constante durante o processo.

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

A amostra coletada foi seca em estufa com ventilação a 40°C por 6-8 horas, em seguida acondicionada em sacos plásticos para posterior utilização nas análises.

3. Análise estatística dos resultados

Para a análise dos resultados experimentais foi empregada a metodologia de superfície de resposta (Response Surface Methodology Revised, 1976, DRAPER, SMITH, 1966), a qual descreve o comportamento da variável dependente (y) frente às mudanças nas variáveis independentes (x_k), no intervalo estudado. Em um sistema envolvendo uma

resposta y , que depende das variáveis x_1, x_2, \dots, x_k a resposta pode ser escrita da seguinte forma:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

Através de uma análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta (y) um polinômio completo de 2ª ordem com as variáveis explicativas (X_k). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita como segue:

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{44} x_4^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{14} x_1 x_4 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{24} x_2 x_4 + \beta_{34} x_3 x_4 + \varepsilon$$

onde:

y_1 = é a função resposta;

x_1, x_2, x_3, x_4 = representam o valor das variáveis independentes;

β_0 = constante;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = correspondem aos coeficientes dos efeitos lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{44}, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}, \beta_{23}, \beta_{24}, \beta_{34}$ = correspondem aos coeficientes dos efeitos de 2ª ordem; e

ε = resíduo que mede o erro experimental.

O polinômio preditivo para cada resposta somente pode ser empregado dentro do intervalo estudado, fixado pelos níveis extremos das variáveis independentes (x_k).

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (teste F). Para o estudo da significância dos efeitos individuais foi observada a estatística t de Student em cada uma das estimativas dos coeficientes. Os termos que não foram significativos foram retirados do modelo, o que nos levou a um novo ajuste, utilizando apenas os termos significativos no ajuste final.

Assim sendo, a partir da equação da regressão, variando-se duas variáveis enquanto as demais ficam constantes, é possível elaborar contornos de superfície de resposta dentro do intervalo estudado.

O processamento dos dados e análise estatística, bem como os gráficos de representação tridimensional foram elaborados com o auxílio de um computador AT-386 e com o uso do "Statistical Analysis System (SAS)".

Especificamente para as respostas NPR, NPUa, VBa e Da foi também aplicada análise de variância, seguida de teste de Tukey, para diferença significativa entre as médias a nível de 5% das rações provenientes dos produtos extrudados, germe de trigo cru e caseína (O'MAHONY, 1986).

C. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Umidade

Determinou-se a umidade segundo o método n^o 44-15A da AACC (1983) usando um estágio e temperatura de 130°C ± 3°C por 1 hora.

2. Cinzas

Foi determinada através de calcinação das amostras a 600°C por duas horas, segundo método 08-12 da AACC (1983).

3. Proteína

Determinou-se o nitrogênio total através do método micro Kjeldahl n^o 46-13 AACC (1983) e multiplicou-se pelo fator 6,25 para obter o teor de proteína bruta.

4. Gordura

Foi determinada pelo método n^o 30-25 da AACC (1983) através de extração contínua com éter de petróleo em aparelho Soxhlet.

5. Fibra

Utilizou-se o método de VAN de KAMER, GINKEL (1952).

6. Amido

Determinou-se o amido por polarimetria segundo método n^o 76-20 da AACC (1983).

7. Açúcares totais

Os açúcares totais foram determinados pelo método colorimétrico fenol-sulfúrico, segundo DUBAIS et al. (1956).

8. Açúcares redutores

Os teores de açúcares redutores foram determinados de acordo com o método espectrofotométrico SOMOGYI (1945) e NELSON (1944).

9. Cromatografia gasosa para a determinação da composição em ácidos graxos

Para esta determinação seguiu-se o método oficial Ce 1-62 da AOCS (1986). O cromatógrafo utilizado foi: Sigma 2B da Perkin Elmer com integrador LCI-100 da Perkin Elmer acoplado. As condições usadas no cromatógrafo foram as seguintes:

- coluna de aço inox com 1/8" de diâmetro externo e 4 m de comprimento, empacotada com 10% de SILAR 10C sob Chromosorb W (80 a 100 mesh);
- detector de ionização de chama;
- fluxo de nitrogênio (gás de arraste) de 25 ml/min;
- temperatura do injetor: 225°C;
- temperatura da coluna: 175°C;

- temperatura do detector: 225°C;
- quantidade de amostra: 1 microlitro.

A identificação dos ácidos graxos foi feita comparando-se os tempos de retenção dos componentes da amostra com os de padrões de ésteres de ácidos graxos (Standard NU check - Prep. Inc.). A quantificação de cada componente foi obtido pela área do pico, calculada pelo integrador e dada como porcentagem da área total (soma tória da área de cada pico).

A preparação das amostras para injeção no cromatógrafo, na forma de ésteres metílicos dos ácidos graxos, foi feita segundo método proposto por HARTMAN, LAGO (1973).

10. Índice de peróxido

Após a extrusão, as amostras foram secas em estufa de ventilação a 35-40°C por 6 a 8 horas. Em seguida, foram moídas em moinho então se processou a extração da gordura. Juntou-se clorofórmio à amostra moída numa proporção de 1:3 mantendo-a sob agitação por 30 min, em seguida separou-se o clorofórmio com a gordura através de filtração a vácuo. Os traços de água foram retirados com sulfato de sódio anidro e nova filtração foi efetuada. A evaporação do clorofórmio se deu em rotavapor a 35-40°C. Finalmente, o resíduo de clorofórmio foi retirado por bomba de alto vácuo seguido por borbulhamento de nitrogénio por 4 a 5 min.

A gordura, assim obtida, foi analisada quanto ao índice de peróxido segundo o método n^o Cd 8-53 da AOCS (1986).

11. Índice de acidez

A gordura obtida para análise de índice de peróxido foi também utilizada para a determinação do índice de acidez, através do método Ca 5a-40 da AOCS (1986).

12. Vitaminas

A determinação das vitaminas: tiamina (B₁), riboflavina (B₂), piridoxina (B₆), niacina (PP), pantotenato de cálcio (PantCa), vitamina E, seguiu os métodos da ASSOCIATION OF VITAMIN CHEMISTS (1966) com algumas adaptações. Quantificou-se as vitaminas PP, PantCa e B₆ através de métodos microbiológicos utilizando os

microrganismos *L. plantarum* ATCC-8014 (PP e PantCa) e *S. carlsbergensis* ATCC-9080 (B6).

As vitaminas B₂, B₁ e E foram determinadas por métodos químicos cujo princípio é brevemente descrito a seguir:

B₂: extração por hidrólise ácida e medida da fluorescência da vitamina no extrato após oxidação das substâncias interferentes.

B₁: extração por hidrólise ácida e enzimática. Purificação através de coluna trocadora de íons, seguida de oxidação a tiocromo e posterior avaliação por fluorimetria.

Vitamina E: saponificação por hidrólise alcalina. Extração dos insaponificáveis (porção que detém a vitamina E). Preparação da amostra para avaliação por HPLC.

13. Determinação da composição em aminoácidos

Amostra de germe de trigo moído contendo aproximadamente 25 mg de proteína foi hidrolisada com HCl 6 N por 22 h a 110°C. O hidrolisado foi analisado por cromatografia de troca iônica em analisador automático Beckman modelo 119 CL, de acordo com os procedimentos recomendados no manual do aparelho (BECKMAN INSTRUMENTS, 1977) segundo metodologia descrita por SPACKMAN et al (1958).

14. Índice de absorção de água (IAA)

As amostras utilizadas na determinação de IAA foram previamente desengorduradas. O IAA foi determinado de acordo com o método proposto por ANDERSON et al (1969). Em um tubo de centrifuga, previamente tarado, foram colocados cerca de 2,5 g de amostra e 30 ml de água a 30°C. Os tubos foram agitados durante 30 minutos e, nesse período, mantidos a 30°C, em seguida, foram centrifugados a 3.000 x g por 10 min.: o líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente em placa de Petri previamente tarada. O gel remanescente foi pesado e o IAA calculado conforme a relação:

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso do gel}}{\text{Peso da amostra (base seca)}}$$

15. Índice de solubilidade em água (ISA)

A quantidade de sólidos solúveis foi determinada a partir da evaporação do sobrenadante obtido anteriormente. Para o cálculo do ISA foi utilizada a seguinte relação:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso do resíduo seco}}{\text{Peso da amostra (base seca)}} \times 100$$

16. Grau de expansão

Esta análise foi realizada no produto logo após extrusão. A expansão foi expressa como a relação entre o diâmetro do produto e o diâmetro da matriz. As medidas foram realizadas em 10 diferentes secções de cada amostra, considerando-se a média aritmética dessa medida.

17. Densidade aparente

Esta análise foi realizada nos produtos extrusados, sendo fragmentados e padronizado quanto à granulometria entre as peneiras com abertura de 4,76 a 2,00 mm.

Uma proveta de 500 ml foi preenchida com o material padronizado e fixada no vibrador "Produtest" com auxílio de uma tampa de borracha. A frequência da vibração foi padronizada com o reostato na posição 5. Após 10 segundos de vibração completava-se o volume de 500 ml com mais material extrusado, que era novamente submetido à vibração. Após o terceiro período de vibração o volume era completado a 500 ml e a massa do material dividida pelo volume de 500 ml.

18. Teste de dureza

Os produtos extrusados foram mantidos em atmosfera de umidade controlada (solução saturada de MgCl_2) e à temperatura de 28°C por 2 meses, a fim de uniformizar o teor de umidade em torno de 10% (HALL, 1957).

A dureza das amostras foi determinada utilizando-se o aparelho Ottawa

Texture Measuring System, model Research da Cannerns Machinery Ltd., com uma célula de compressão de 40 mm de diâmetro, célula de carga de 50 kg, velocidade descendente do cabeçote de 1,6 cm/min e velocidade da carta de 300 mm/min. As amostras, em forma cilíndrica de 10 mm de comprimento, foram colocadas horizontalmente sobre a base do equipamento e comprimidas até o ponto em que a força de resistência transmitida à célula não fosse proveniente do comportamento da massa sob a pressão exercida. Foram feitas 10 repetições para cada amostra.

19. Determinação de cor

Foram feitas as leituras de cor do extrusado fragmentado e padronizado entre as peneiras com abertura de 4,76 a 2,00 mm por meio de espectrocolorímetro COMCOR 1500 Plus. As amostras, por ocasião das leituras, apresentavam opacidade comprovada. Foi utilizado o sistema de média ativa (3 repetições) ângulo de 10° e configuração DREOL do espectrocolorímetro.

D. MÉTODOS BIOLÓGICOS

1. Descrição dos ensaios biológicos

Na avaliação da qualidade nutricional dos diferentes extrusados utilizou-se ratos recém-desmamados (21-25 dias) da linhagem Wistar obtidos do Biotério Central da UNICAMP.

Os ratos foram pesados ao chegarem ao laboratório e distribuídos em grupos de 6 para 14 dietas distintas.

Durante os experimentos, os ratos foram mantidos em gaiolas individuais com água e ração "ad libitum". Os ratos tiveram um período de 2 dias para adaptação. Logo após teve início o ensaio, propriamente dito, com uma duração de 12 dias, sendo que durante os últimos 7 dias foram mantidos em gaiolas metabólicas para coleta de urina e fezes. A urina foi coletada em erlenmeyer contendo 20 ml de ácido sulfúrico a 50% e diluída até um volume de 100 ml para dosagem de nitrogênio. As fezes foram secadas a 45°C durante 1 dia, pesadas, moídas e guardadas em frascos herméticos, para posterior dosagem de nitrogênio.

2. Preparo das dietas

Na realização dos ensaios biológicos, foram preparadas dietas cuja composição centesimal está basicamente especificada em ALLISON (1964) e FRIEDMAN (1975). A tabela 15 apresenta as proporções usadas, sendo que a mistura vitamínica foi baseada na Nutritional Biochemicals Corporation (NBC), Cleveland, catálogo de 1977/1978, e a mistura salina usada seguiu as especificações de ROGERS, HARPER (1965).

Óleo de milho foi adicionado às rações, em quantidade suficiente para se atingir 8%, considerando o teor de gordura presente naturalmente nos produtos.

Tabela 15: Composição centesimal das dietas utilizadas nos ensaios biológicos

Componentes	Porcentagem
Proteína	10
Gordura (óleo de milho comercial)	8
Sais minerais ^a	4
Vitaminas ^b	2
Sacarose (açúcar refinado comercial)	¹ /3 do peso p/100
Amido (amido de milho comercial)	² /3 do peso p/100

a: mistura salina preparada conforme ROGERS, HARPER (1965)

b: mistura vitamínica preparada conforme o ICN Diet Catalog(NBC, 1977/1978)

Foram preparadas 11 rações a partir dos produtos extrusados, obtidos segundo as condições do delineamento estatístico descritas na tabela 14.

Além disso, foram empregados grupos controle com dieta aprotéica, caseína e germe de trigo cru.

3. Quociente protéico líquido (NPR)

Na avaliação do índice NPR empregou-se o método descrito por BENDER, DOELL (1957). Durante o ensaio foram controlados os ganhos de peso dos animais, assim como as quantidades de ração consumida. Findo o período estabelecido para essas medidas (12 dias) o índice NPR foi calculado pela relação:

$$NPR = \frac{GP + PP_{ap}}{P_{ing}}$$

GP = ganho de peso do grupo alimentado com a ração em estudo (g)

PP_{ap} = perda de peso do grupo alimentado com a ração apropriada (g)

P_{ing} = proteína ingerida pela ração em estudo (g)

4. Digestibilidade aparente

A digestibilidade aparente das proteínas foi estimada a partir da dosagem de nitrogênio total ingerido e o eliminado nas fezes, segundo a relação:

$$Da (\%) = \frac{NA}{NI} \times 100 = \frac{NI - NF}{NI} \times 100$$

NI = nitrogênio total ingerido pela ração

NF = nitrogênio total eliminado nas fezes

NA = nitrogênio absorvido

5. Valor biológico aparente

O valor biológico aparente foi determinado pela relação:

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

onde:

NA = nitrogênio absorvido, definido pela diferença entre nitrogênio ingerido pela dieta (NI) e o nitrogênio eliminado nas fezes (NF)

NR = nitrogênio retido, dado pela diferença entre NA e o nitrogênio eliminado na urina (NU)

6. Utilização líquida aparente da proteína (NPUa)

O balanço de nitrogênio permitiu-nos também o cálculo de NPU pela relação:

$$\text{NPU}_a (\%) = \frac{\text{NR}}{\text{NI}} \times 100 = \frac{\text{NI} - \text{NF} - \text{NU}}{\text{NI}} \times 100$$

E. Análise sensorial

Os testes sensoriais foram realizados no laboratório de Análise Sensorial do FEA-UNICAMP. Foram utilizadas cabines individuais com luz branca.

Para os testes, as amostras foram apresentadas em xícaras de cor preta em seu interior, com aproximadamente 25 g do produto, sendo coberto por uma fina camada de algodão pois a aparência não deveria interferir na avaliação e, finalmente, as xícaras foram tampadas com um vidro de relógio.

1. Seleção e treinamento dos provadores

A metodologia empregada para a seleção dos provadores foi baseada em DAMASIO, COSTELL (1991).

Inicialmente, foi realizada uma reunião com os candidatos, a fim de esclarecer o tipo de análise que seria conduzido, bem como o atributo a ser avaliado, apresentando-se amostras representativas dos extremos da escala.

Em seguida, foram realizadas avaliações de três amostras com quatro repetições com o objetivo de selecionar os provadores .

As três amostras utilizadas para esses testes se apresentavam quanto ao odor de ranço da seguinte forma: isenta, intermediária e excessiva. A técnica sensorial utilizada para essas avaliações foi de escala não estruturada de 9 cm com os extremos definidos como nenhum e excessivo odor de ranço. O modelo da ficha empregada pode ser visto na figura 2.

A partir do resultado dessas quatro repetições foram feitas as análises de variância de dois fatores (amostra e repetições).

Para avaliar o poder de discriminação aceitamos aqueles provadores que apresentaram valor de F significativo ($p \leq 0,05$), e para o poder de repetição aqueles

que apresentaram um valor de F não significativo ($p \leq 0,05$).

Um último critério na seleção dos provadores foi utilizado, ou seja, a avaliação da concordância, dada pela ordem das médias. Assim, se a amostra A é isenta, B é intermediária e C é excessiva quanto ao odor de ranço, então as médias das repetições para cada amostra e cada provador deveria se apresentar na seguinte ordem: $A < B < C$.

Figura 2: Ficha modelo empregada para treinamento e seleção de provadores para odor de ranço em germe de trigo extrusado

NOME: _____ DATA: _____

Indique a intensidade do odor ranço de cada amostra e coloque um traço vertical na linha entre NENHUM e EXCESSIVO

Nº Amostra	Escala
_____	Nenhum ----- Excessivo
_____	Nenhum ----- Excessivo
_____	Nenhum ----- Excessivo

Comentários: _____

2. Testes realizados

Foram avaliadas as onze amostras obtidas nas condições do delineamento estatístico descritas na tabela 14, quanto ao odor de ranço e aceitabilidade, a cada 15 ou 20 dias de armazenamento. Paralelamente, para essas mesmas amostras foi determinado índice de peróxido e de acidez.

Avaliar onze amostras de uma única vez, provocaria fadiga nos provadores. Para evitar esse problema, foi adotado um modelo de blocos incompletos balanceados (COCHRAN, COX, 1964), do seguinte tipo:

$t = 11$ (número de amostras);

$k = 5$ (número de amostras apresentadas para cada provador em cada secção);

$b = 11$ (número de provadores ou blocos);

$r = 5$ (número de julgamentos para cada amostra);

$\lambda = 2$ (número de vezes que cada par de amostra aparece para um mesmo provador).

O delineamento de blocos incompletos balanceados pode ser visto na tabela 16.

Tabela 16: Delineamento de blocos incompletos balanceados para:
 $t = 11, k = 5, b = 11, r = 5$ e $\lambda = 2$

Provadores (blocos)	Amostras					
1	1	2	3	5	8	
2	2	3	4	6	9	
3	3	4	5	7	10	
4	4	5	6	8	11	
5	5	6	7	9	1	
6	6	7	8	10	2	
7	7	8	9	11	3	
8	8	9	10	1	4	
9	9	10	11	2	5	
10	10	11	1	3	6	
11	11	1	2	4	7	

Os provadores receberam um conjunto de cinco amostras em cada sessão para serem avaliadas quanto à intensidade do odor de ranço e registrar também o nível de aceitação de cada amostra.

Junto com as amostras a serem avaliadas foi apresentado um kit de amostras padrão, isentas de odor de ranço (dos procedimentos correspondentes às amostras em teste) e uma com excessivo odor de ranço, ao qual deveria recorrer para definir os extremos da escala.

A técnica sensorial empregada para essas avaliações foi de escala não estruturada de 9 cm com os extremos definidos como nenhum e excessivo odor de ranço e para aceitabilidade os extremos foram aceitável e inaceitável.

O modelo da ficha empregada pode ser visto na figura 3.

Para a análise estatística, utilizou-se metodologia segundo AMERINE, ROESSLER (1976), seguida de testes de Tukey para diferença significativa entre as médias a nível de 5% (O'MAHONY, 1986).

Para a avaliação de aceitabilidade foi definido o valor de 4,5 como crítico, (ou seja, a metade da escala). Amostras que apresentaram média menor ou igual a esse valor foram consideradas já deterioradas pela rancidez.

Figura 3: Ficha modelo empregada para avaliação do odor de ranço e aceitabilidade de produtos extrusados de germe de trigo

NOME: _____ DATA: _____

Por favor, avalie as amostras quanto ao odor de ranço e quantifique com um traço vertical na linha entre NENHUM e EXCESSIVO

Nº Amostra	Escala	
_____	Nenhum	Excessivo

Indique de acordo com a escala abaixo o nível de aceitabilidade de cada amostra

Nº Amostra	Escala	
_____	Inaceitável	Aceitável

Comentários: _____

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO GERME DE TRIGO

1. Composição química do germe de trigo

A composição química do germe de trigo está apresentada na tabela 17.

Tabela 17: Composição química do germe de trigo

Componentes	(%) base seca
Umidade	11,40 (base úmida)
Proteína (x 6,25)	34,05
Gordura	14,26
Cinzas	4,23
Fibra	8,17
Carboidratos totais	47,46
Açúcares totais	19,83
Açúcares redutores	8,42
Amido	16,43

Esses valores estão em concordância com valores encontrados na literatura (FRASER, HOLMES, 1957; GREWE, LeCLERC, 1943), com excessão de fibra, cujo valor foi um tanto elevado. No entanto, pelos métodos de moagem do trigo, o farelo e o germe podem se misturar em maior ou menor proporção, sendo que o farelo apresenta alto conteúdo de fibras. FRASER, HOLMES (1957) encontraram valores de celulose para o germe de 8,49 g/100 g de matéria seca e para o farelo de 24,23 g/ 100 g de matéria seca.

2. Composição em ácidos graxos

O óleo de germe de trigo foi extraído, a partir da amostra moída com clorofórmio. A composição do óleo em ácidos graxos foi determinada por cromatografia gasosa, e o resultado pode ser visto na tabela 18.

Tabela 18: Composição em ácidos graxos da gordura de germe de trigo

Ácido graxo	(%)
Ácidos graxos saturados	18,08
Palmítico (C 16:0)	17,49
Esteárico (C 18:0)	0,69
Ácidos graxos insaturados	81,14
Oléico (C 18:1)	16,17
Linoléico (C 18:2)	56,38
Linolênico (C 18:3)	8,59
Traços de outros ácidos graxos	0,78

3. Composição em aminoácidos

Foi feita a determinação de aminoácidos no germe e os resultados podem ser vistos na tabela 19.

Tabela 19: Composição de aminoácidos da proteína do germe de trigo

Aminoácido	g aas
	16 g N
Lisina	4,45
Histidina	3,27
Arginina	6,42
Ácido aspártico	6,53
Treonina	3,04
Serina	3,14
Ácido glutâmico	11,53
Prolina	3,40
Glicina	4,37
Alanina	4,20
Metionina	1,32
Cistina	0,49
Valina	3,73
Isoleucina	3,10
Leucina	4,93
Tirosina	2,08
Fenilalanina	2,71
Amônia	0,72

A composição em aminoácidos obtida para a proteína do germe de trigo está em concordância com aquela citada por POMERANZ et al. (1970a)

4. Determinação de vitaminas

Foram determinadas no germe de trigo as seguintes vitaminas: Vitamina E, Tiamina, Riboflavina, Niacina, Piridoxina e Pantotenato de Cálcio. Os valores obtidos podem ser vistos na tabela 20.

Tabela 20: Valores de vitaminas no germe de trigo

Vitaminas	mg/100 g de m.s.
Tiamina (B ₁)	2,41
Riboflavina (B ₂)	1,17
Niacina (PP)	4,94
Piridoxina (B ₆)	1,59
Pantotenato de Cálcio (PantCa)	1,13
Vitamina E	23,45

B. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO, UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA, TEOR DE AMIDO E TEOR DE AÇÚCAR NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS PRODUTOS EXTRUSADOS À BASE DE GERME DE TRIGO

1. Índice de absorção de água (IAA)

O IAA depende da disponibilidade dos grupos hidrofílicos (-OH) para ligar-se a moléculas de água e da capacidade de formação de gel das macromoléculas (FAUBION et al., 1982). Os grupos hidrofílicos disponíveis aumentam com o grau de gelatinização.

O índice de absorção de água foi estudado à temperatura de 30°C.

Os valores encontrados experimentalmente para o IAA segundo condições dos tratamentos são apresentados na tabela 21.

De acordo com os dados experimentais, foi estabelecido o modelo de regressão completo. A partir da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não significativos, dando origem a um modelo reajustado. A ANOVA para o modelo reajustado pode ser visto na tabela 22.

O modelo reajustado é altamente significativo ($p = 0,0001$) e explica 90% da variação da resposta ($R^2 = 0,90$), por isso, o polinômio descrito na equação 1 pode ser usado para prever os valores de IAA segundo as variáveis e intervalo de variação estudados.

$$y = - 18,77 + 11,11 \cdot 10^{-1}U + 11,65 \cdot 10^{-2}T + + 2,45 \cdot 10^{-2}M + \\ 7,46 \cdot 10^{-2} - 1,85 \cdot 10^{-2}U^2 - 2,2 \cdot 10^{-4}T^2 - 4,54 \cdot 10^{-3}C^2 - \\ 2,1 \cdot 10^{-3}UT$$

(equação 1)

Tabela 21: Influência das variáveis do processo de extrusão no índice de absorção de água (IAA) dos produtos extrusados à base de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão				IAA (g de gel/g m.s.*)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
01	17	120	30	4	2,26
02	21	120	30	4	2,92
03	17	180	30	4	3,34
04	21	180	30	4	3,08
05	17	120	40	4	2,53
06	21	120	40	4	3,03
07	17	180	40	4	3,38
08	21	180	40	4	3,45
09	17	120	30	12	2,29
10	21	120	30	12	2,83
11	17	180	30	12	3,13
12	21	180	30	12	3,20
13	17	120	40	12	2,34
14	21	120	40	12	3,13
15	17	180	40	12	3,40
16	21	180	40	12	4,01
17	15	150	35	8	2,83
18	23	150	35	8	3,64
19	19	90	35	8	2,17
20	19	210	35	8	3,31
21	19	150	25	8	3,17
22	19	150	45	8	3,53
23	19	150	35	0	3,28
24	19	150	35	16	3,20
25	19	150	35	8	3,61
26	19	150	35	8	3,44
27	19	150	35	8	3,40
28	19	150	35	8	3,33
29	19	150	35	8	3,51
30	19	150	35	8	3,63
31	19	150	35	8	3,38

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

X₃ = teor de amido na matéria-prima (%)

X₄ = teor de açúcar na matéria-prima (%)

* m.s. = matéria seca

Tabela 22: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para índice de absorção de água (IAA)

Média das respostas	3,15
Desvio padrão	0,17
Coefficiente de variação	5,32
R ²	0,8974

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	8	5,4086	0,6761	24,05	0,0001
Resíduo	22	0,6185	0,0281		
Total	30	6,0271			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	-18,77	
U	$11,11 \cdot 10^{-1}$	0,0019
T	$11,65 \cdot 10^{-2}$	0,0001
M	$2,45 \cdot 10^{-2}$	0,0017
C	$7,46 \cdot 10^{-2}$	0,0309
U ²	$1,85 \cdot 10^{-2}$	0,0269
T ²	$-2,20 \cdot 10^{-4}$	0,0001
C ²	$-4,54 \cdot 10^{-3}$	0,0293
UT	$-2,10 \cdot 10^{-3}$	0,0069

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

M = teor de amido (%)

C = teor de açúcar (%)

Ainda pela ANOVA da tabela 22, o IAA mostrou ser dependente das quatro variáveis estudadas, indicando maior significância do efeito linear e quadrático de temperatura ($p = 0,0001$) e menor significância da porcentagem de açúcar, onde $p = 0,0309$ e $p = 0,0293$ para os efeitos linear e quadrático, respectivamente.

O efeito das variáveis independentes sobre a resposta IAA será discutido a seguir.

a. Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima

A figura 4 ilustra o efeito de temperatura de extrusão e umidade de matéria-prima nos extrusados de germe de trigo.

De uma maneira geral a absorção de água aumentou com aumentos de temperatura e umidade. Isto ocorreu devido a uma desintegração do amido, tornando as moléculas disponíveis para absorção de água, porém, conforme as condições de temperatura e umidade o IAA pode ser maior ou menor.

Dessa forma, para região de baixa umidade, aumento da temperatura favoreceu a capacidade de absorção de água, enquanto que, na faixa de alta umidade, aumento de IAA foi verificado com aumento de temperatura até 195°C , acima desse valor observou-se decréscimo do IAA.

Trabalhando-se com temperaturas baixas, aumentos na umidade incrementaram o IAA, enquanto que na faixa de alta temperatura o efeito de umidade sobre a absorção de água foi bastante suave tendendo a um decréscimo de IAA para umidades maiores.

A superfície de resposta apresentou, portanto, uma região estacionária de máximo IAA para temperaturas entre 140 e 195°C e umidades acima de 17% , aproximadamente.

Menor absorção de água ocorreu a baixas temperatura e umidade.

MERCIER, FEILLET (1975) relataram que para amido de trigo, milho e arroz foi observado aumento de IAA com temperatura até um máximo de 180°C , diminuindo a seguir. Uma correlação direta de teor de umidade com IAA também foi constatada.

b. Efeito de teor de amido e teor de açúcar

Esse efeito pode ser verificado na figura 5, onde aumento de IAA ocorreu com aumento do teor de amido, numa relação linear. Este é um fato esperado, pois sob condições de extrusão adequada para gelatinização do amido, quanto maior a quantidade de amido presente, maior a quantidade de grupos hidrofílicos ($-\text{OH}$) disponíveis para se ligarem às moléculas de água, aumentando o IAA.

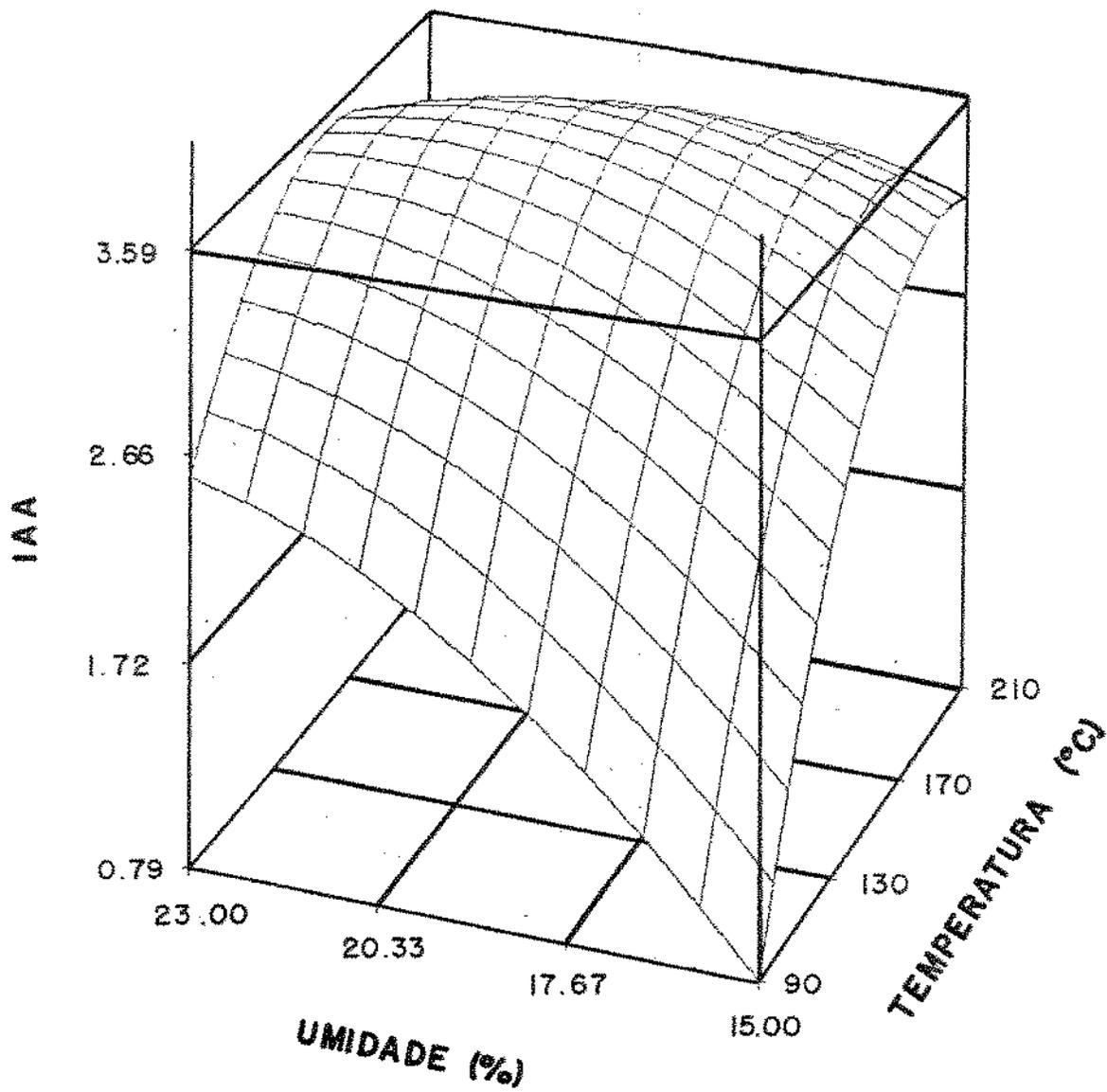


Figura 4: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matériapríma no índice de absorção de água (g de gel/g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, teor de açúcar = 8%)

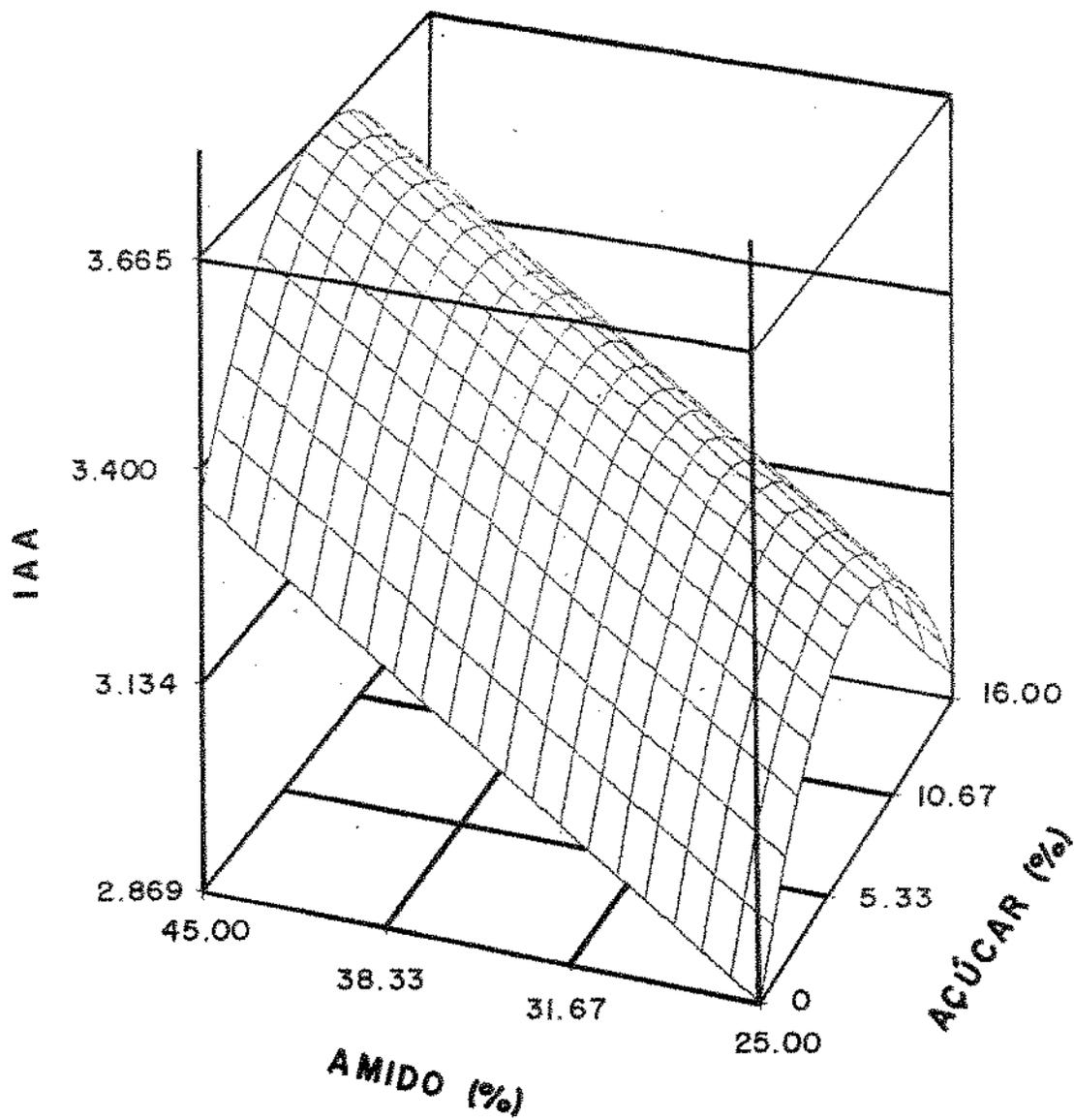


Figura 5: Efeito de teor de amido e teor de açúcar no índice de absorção de água (g de gel/ g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, temperatura = 150°C)

A absorção de água também aumentou com adição de açúcar até 8%, em seguida diminuiu para contínuos incrementos de açúcar.

É interessante ressaltar que produtos com o mesmo IAA podem ser obtidos com diferentes níveis de açúcar.

c. Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido

Verifica-se, pela figura 6, que o aumento de teor de amido contribuiu para um ligeiro aumento de IAA. Aumentos na temperatura de extrusão aumentou absorção de água até um máximo, para temperatura de aproximadamente 170°C, decrescendo a seguir para maiores temperaturas. Em altas temperaturas, a degradação do amido atinge níveis maiores, podendo provocar a quebra das macromoléculas (segmentos de grânulos de amido gelatinizado), diminuindo a sua capacidade de formação de gel, com conseqüente diminuição do IAA.

d. Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar

O efeito combinado de temperatura e teor de açúcar pode ser visualizado através da superfície de resposta apresentada na figura 7, onde se observou que incrementos no teor de açúcar até 8% favoreceu o IAA. Níveis acima de 8% de açúcar diminuíram IAA. O aumento de temperatura também contribuiu para aumentar IAA, até um máximo de temperatura em torno de 175°C, diminuindo a seguir para maiores temperaturas.

Ocorreu, portanto, uma região estacionária de máximo IAA, para temperaturas entre 160-190°C e teor de açúcar entre 4 e 10%. Um afastamento da região de máximo, em qualquer direção, por variações no teor de açúcar, na temperatura ou em ambas, provocaria diminuição do IAA.

e. Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido

A figura 8 representa o efeito combinado de umidade da matéria-prima e teor de amido na resposta IAA. Verificou-se que o IAA aumentou com aumentos crescentes de umidade e tornou-se, praticamente, constante para umidades acima de 21%.

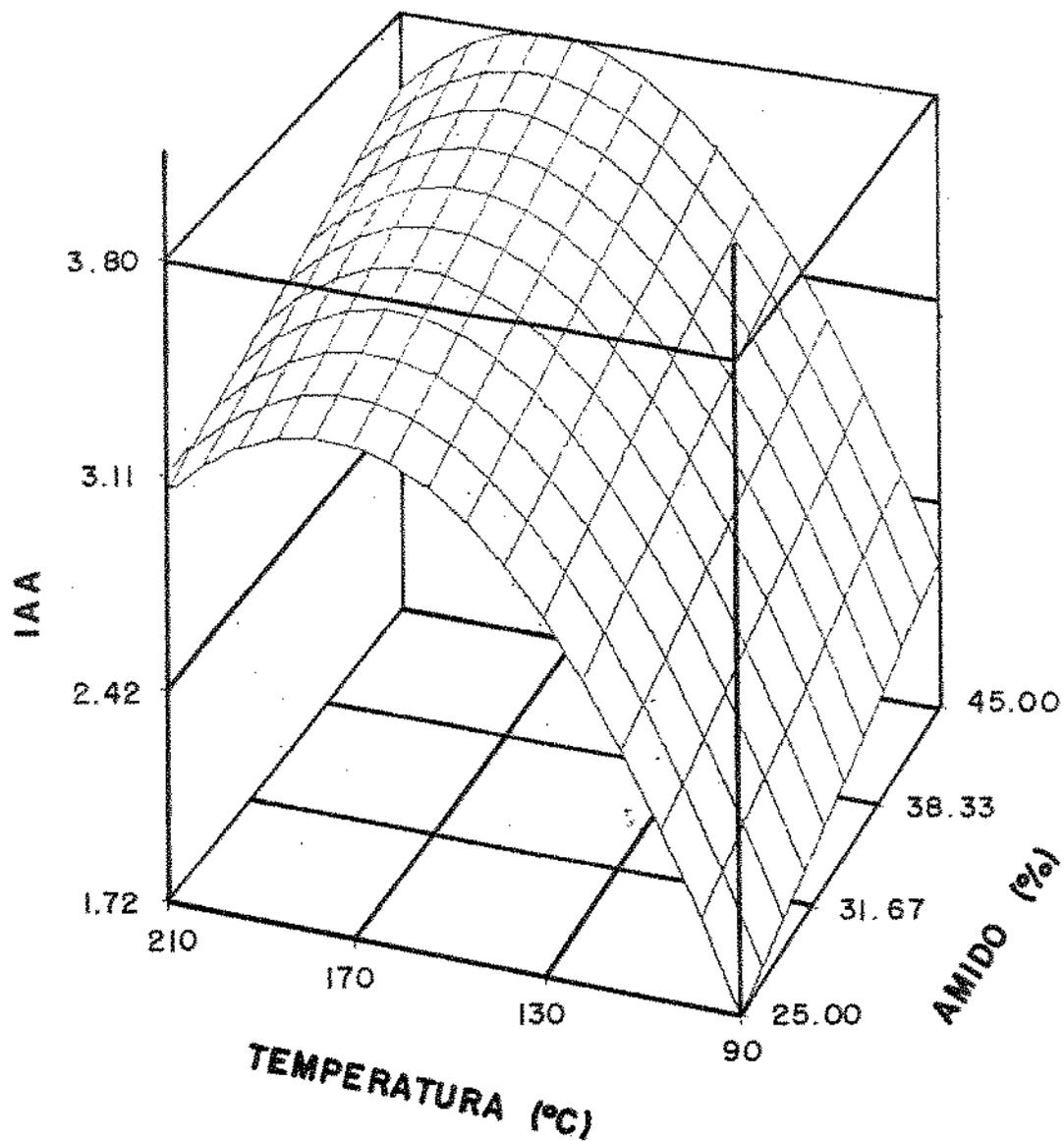


Figura 6: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido no índice de absorção de água (g de gel/g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%)

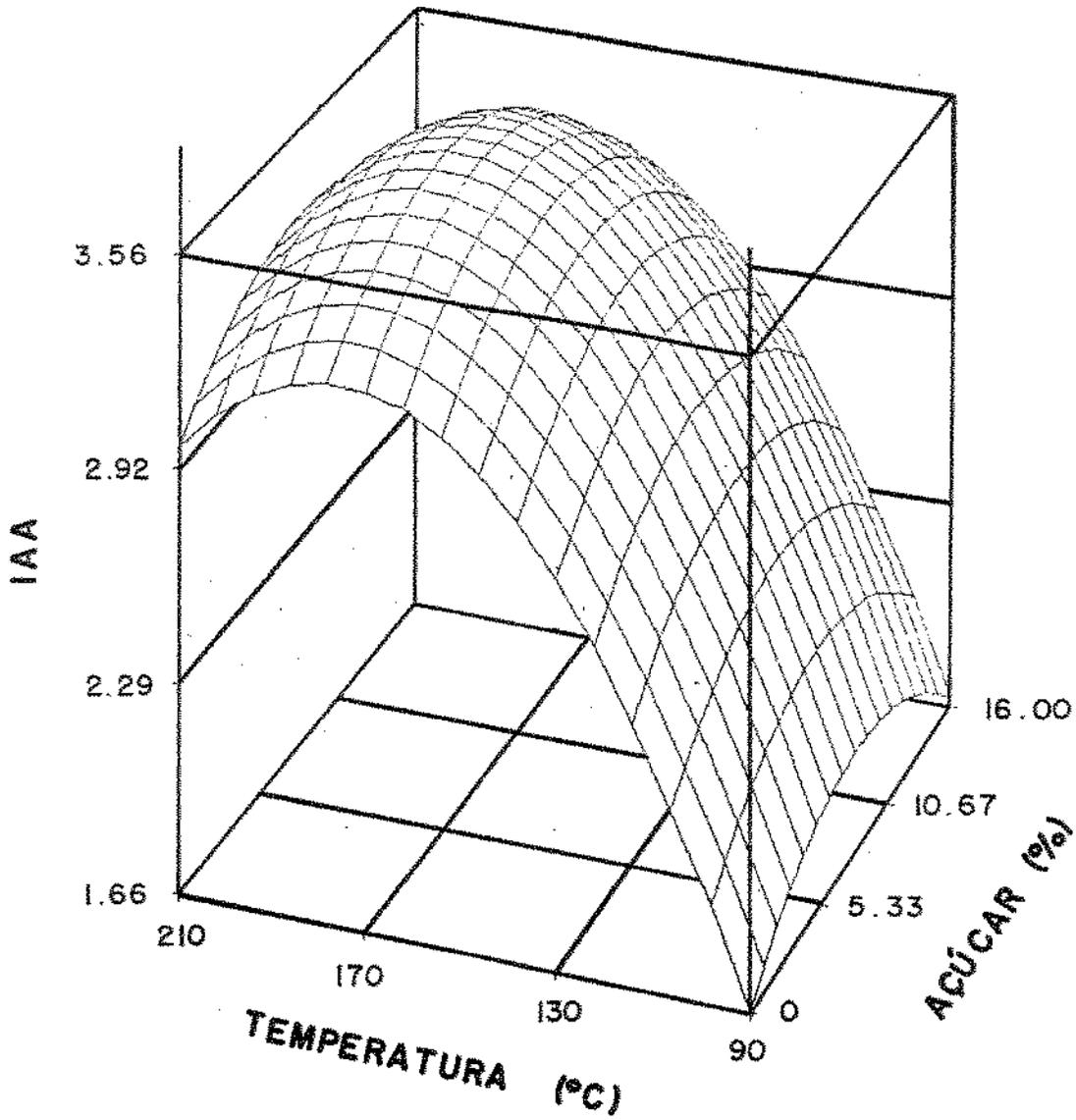


Figura 7: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar no índice de absorção de água (g de gel/g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)

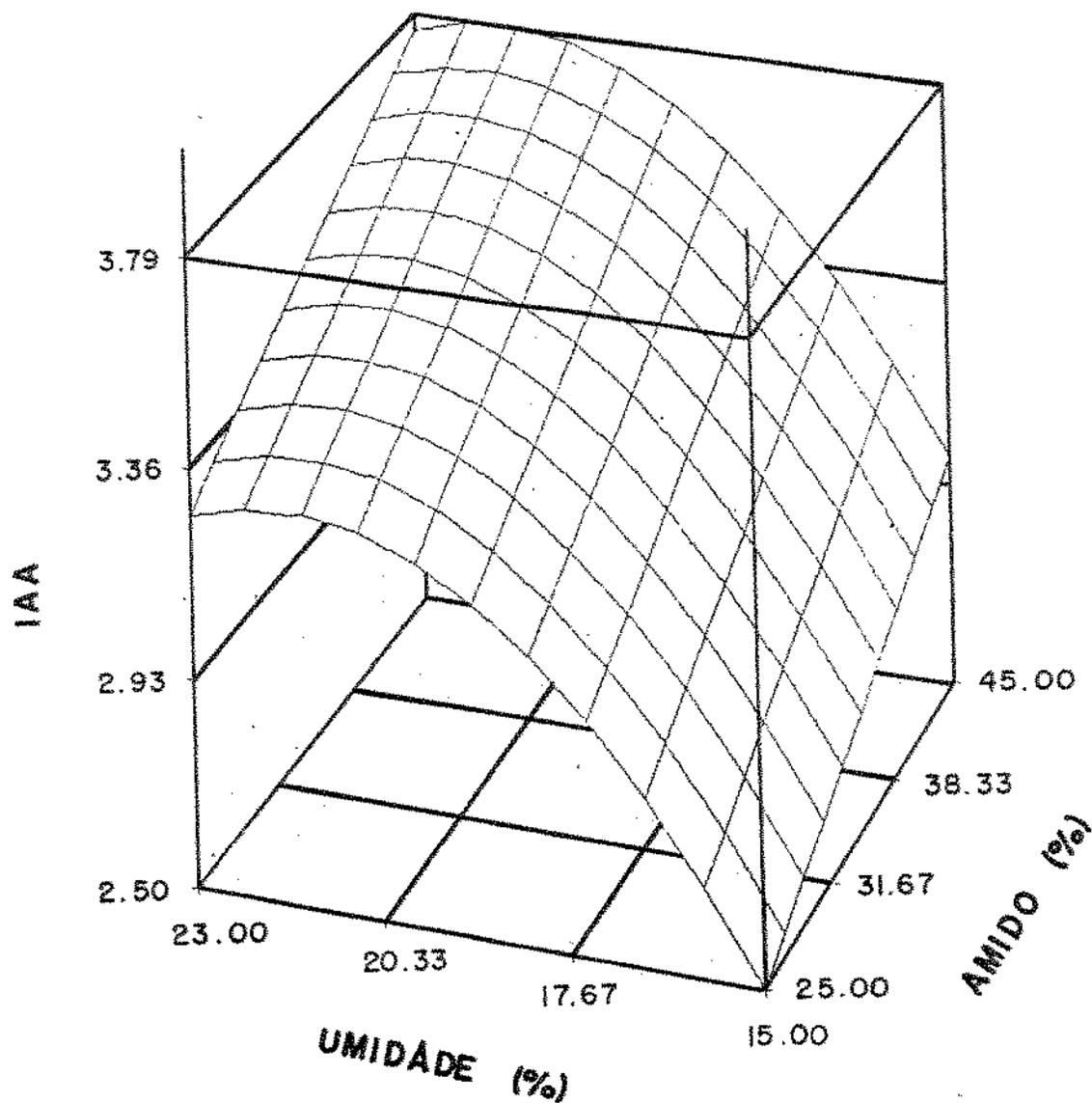


Figura 8: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido no índice de absorção de água (g de gel/g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%, temperatura = 150°C)

O IAA apresentou uma relação linear e direta com o amido, ou seja, maiores teores de amido, maior IAA.

Em baixas umidades obteve-se menores valores para IAA, indicando que maior atrito provoca degradação excessiva nas macromoléculas, prejudicando sua capacidade de formação de redes de gel.

LINKO et al. (1980) constataram o aumento do IAA em função do teor de umidade em experimentos com amido de cevada, o mesmo acontecendo com GOMES, AGUILERA (1983), para amido de milho.

f. Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar

No diagrama de superfície de resposta para IAA em função de umidade da matéria-prima e teor de açúcar, apresentado na figura 9, observou-se que IAA aumentou com maior conteúdo de água e tornou-se, praticamente, constante para umidades acima de 21%. Incrementos no teor de açúcar até 8% favoreceram a absorção de água, acima desse nível de açúcar o IAA passou a diminuir.

Assim, maiores IAA ocorreram numa região estacionária delimitada por umidades acima de 20% e teor de açúcar entre 5 e 11%. Um afastamento da região de máximo IAA, em qualquer direção provocaria diminuição de IAA.

De acordo com os resultados obtidos, as quatro variáveis estudadas contribuíram até determinados níveis para aumentar a absorção de água. Assim, maiores valores de IAA foram obtidos nas seguintes condições: temperatura entre 160-190°C, umidade entre 20-21%, açúcar de 5 a 11% e amido 45%.

Menores valores de IAA ocorreram com baixos teores de amido (25%), umidade (15%) e temperatura (90°C), com açúcar em 0 ou 16%.

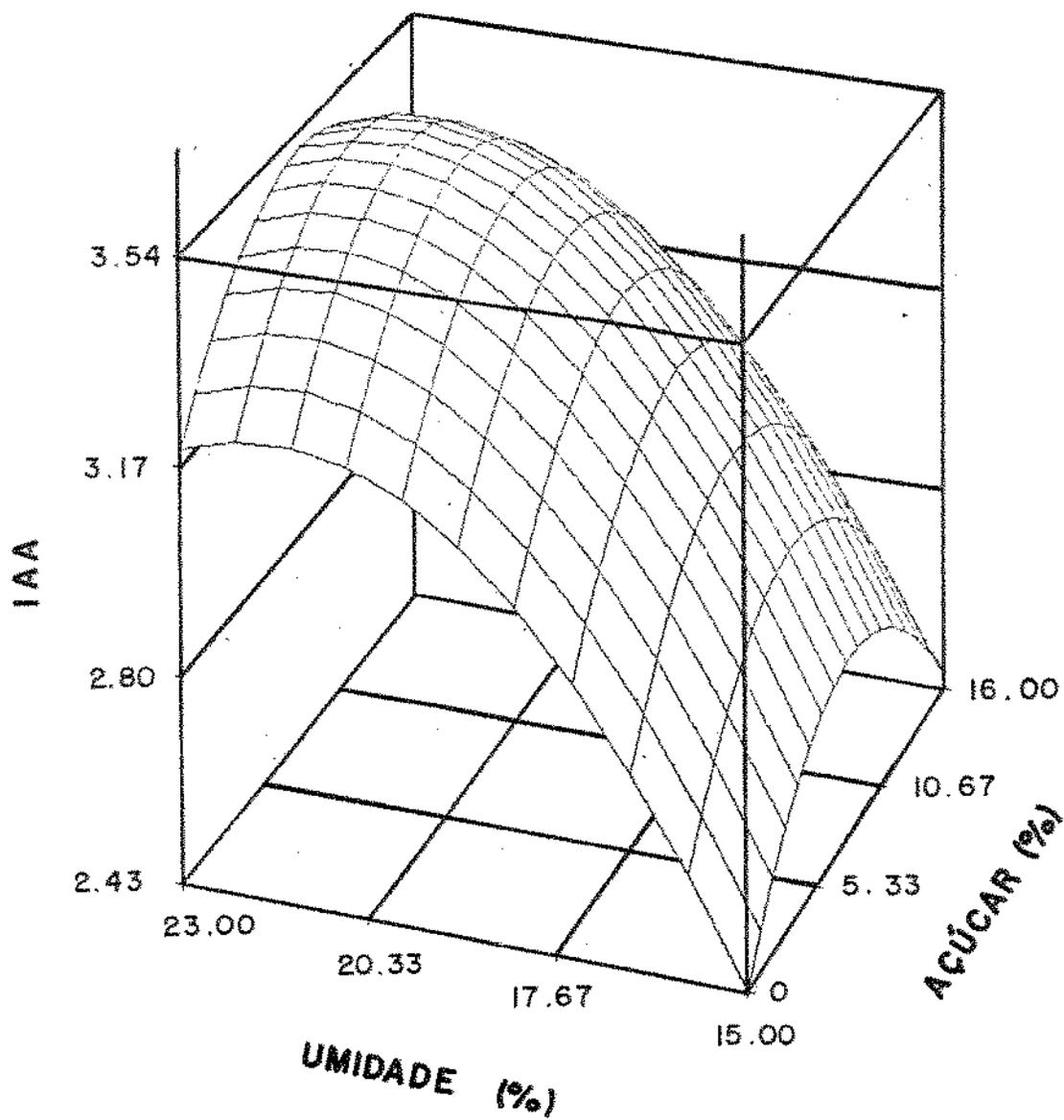


Figura 9: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar no índice de absorção de água (g de gel/g de matéria seca) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, temperatura = 150°C)

2. Índice de solubilidade em água (ISA)

A solubilidade em água, verificada em produtos extrusados é consequência da degradação sofrida pelo grânulo de amido, ou seja, dos efeitos de gelatinização e dextrinização.

Com base nos dados experimentais apresentados na tabela 23 foi estabelecido o modelo de regressão completo que se mostrou altamente significativo ($p = 0,0000$), a falta de ajuste foi não significativa ($p = 0,1169$) e $R^2 = 0,9288$, no entanto alguns efeitos mostraram-se não significativos.

Nova análise de variância foi feita, incorporando os efeitos não significativos ao resíduo, onde obteve-se um modelo de regressão representado pela equação 2.

$$y = 108,51 - 2,73U - 5,82 \cdot 10^{-1}T - 7,69 \cdot 10^{-1}M + 1,10C + \\ + 3,71 \cdot 10^{-4}T^2 + 1,88 \cdot 10^{-2}C^2 + 1,70 \cdot 10^{-2}UT + \\ + 4,5 \cdot 10^{-3}TM - 2,65 \cdot 10^{-2}MC$$

O modelo de regressão reajustado obtido pelo ANOVA apresentada na tabela 24, foi significativo ao nível de $p = 0,0001$ e explica 92% da variação de ISA ($R^2 = 0,92$) em função das quatro variáveis estudadas, podendo ser usado para fins preditivos.

Através da equação 2 foram geradas superfícies de resposta, ilustrando o efeito das variáveis sobre ISA, que serão analisadas a seguir.

a. Efeito da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima

Na figura 10 pode ser visualizado o efeito combinado de temperatura e umidade no ISA, em cuja região estudada apresentou um ponto de sela.

Verificou-se que para baixas temperaturas o ISA diminuiu com aumento da umidade, já para altas temperaturas o efeito da umidade sobre ISA foi inverso. Em regiões de alta umidade o ISA aumentou com aumento de temperatura, enquanto que, em condições de baixa umidade o efeito foi invertido.

Assim, maior índice de solubilidade em água foram obtidos a baixas, umidade e temperatura, ou no extremo oposto. Menor ISA foi encontrado em condições de baixa temperatura e alta umidade.

Tabela 23: Influência das variáveis do processo de extrusão no índice de solubilidade em água (ISA) dos produtos extrusados à base de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão				ISA (%)
	X_1	X_2	X_3	X_4	
01	7	120	30	4	28,93
02	1	120	30	4	23,80
03	7	180	30	4	23,23
04	1	180	30	4	26,43
05	7	120	40	4	22,63
06	1	120	40	4	21,47
07	7	180	40	4	24,43
08	1	180	40	4	25,80
09	7	120	30	12	31,67
10	1	120	30	12	29,04
11	7	180	30	12	29,79
12	1	180	30	12	30,51
13	7	120	40	12	27,02
14	1	120	40	12	24,62
15	7	180	40	12	26,54
16	1	180	40	12	26,29
17	5	150	35	8	26,12
18	3	150	35	8	25,18
19	9	90	35	8	25,65
20	9	210	35	8	27,60
21	9	150	25	8	28,87
22	9	150	45	8	22,79
23	9	150	35	0	22,42
24	9	150	35	16	30,56
25	9	150	35	8	26,61
26	9	150	35	8	24,74
27	9	150	35	8	25,10
28	9	150	35	8	24,78
29	9	150	35	8	25,32
30	9	150	35	8	25,03
31	9	150	35	8	25,80

X_1 = umidade da matéria-prima (%)

X_2 = temperatura de extrusão (°C)

X_3 = teor de amido na matéria-prima (%)

X_4 = teor de açúcar na matéria-prima (%)

Tabela 24: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para índice de solubilidade em água (ISA)

Média das respostas	26,09
Desvio padrão	0,87
Coefficiente de variação	3,35
R ²	0,9182

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	9	180,0341	20,0038	26,22	0,0001
Resíduo	21	16,0207	0,7629		
Total	30	196,0548			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	108,51	
U	-2,73	0,0001
T	-5,82·10 ⁻¹	0,0001
M	-7,69·10 ⁻¹	0,0040
C	1,10	0,0158
T ²	3,71·10 ⁻⁴	0,0513
C ²	1,88·10 ⁻²	0,0772
UT	1,70·10 ⁻²	0,0001
TM	4,50·10 ⁻³	0,0055
MC	-2,65·10 ⁻²	0,0243

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

M = teor de amido (%)

C = teor de açúcar (%)

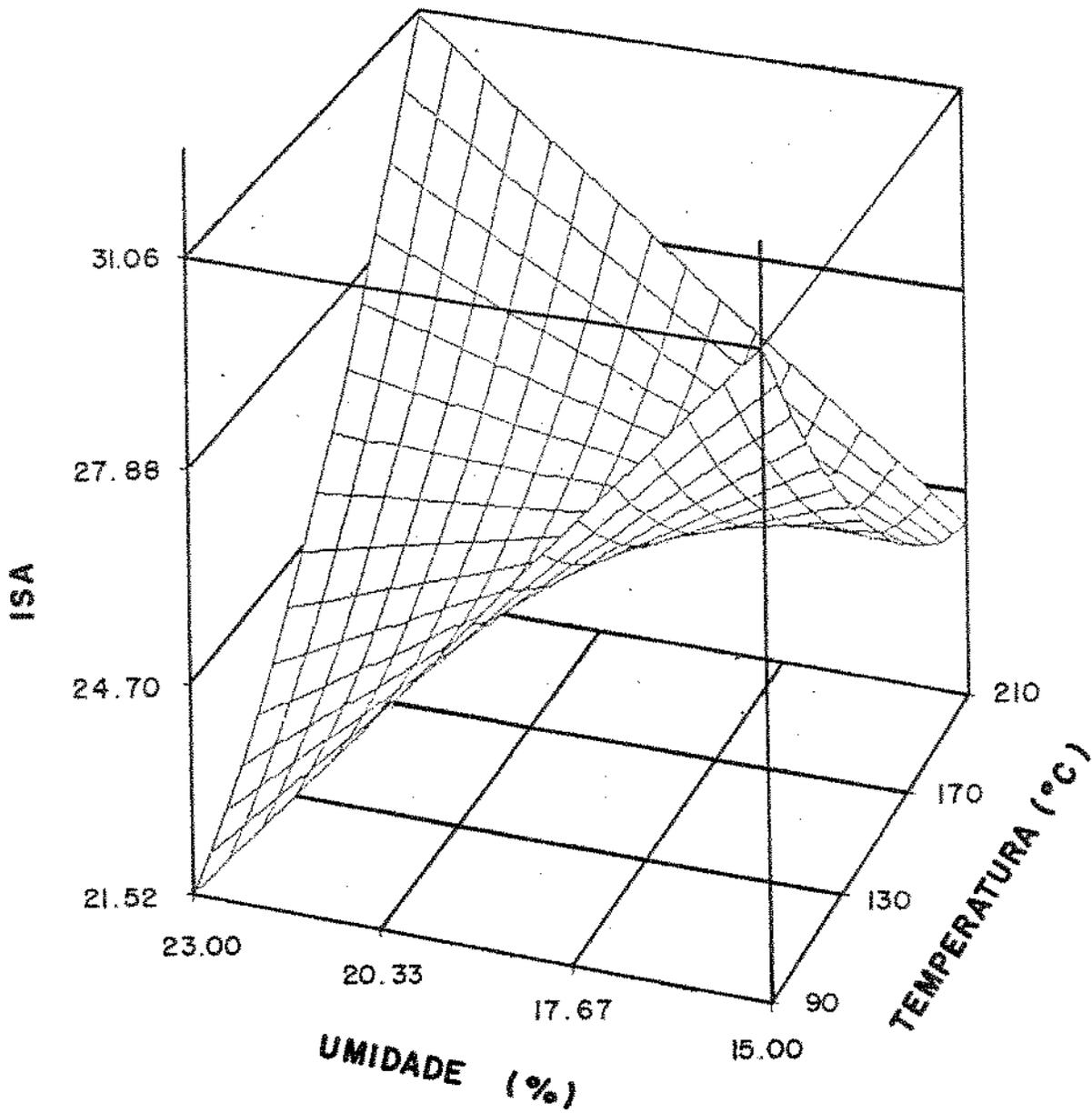


Figura 10: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%, amido = 35%)

b. Efeito do teor de amido e teor de açúcar

Conforme figura 11, o ISA aumentou com incremento no teor de açúcar. Este é um fato esperado, uma vez que moléculas de açúcar são solúveis em água.

Com aumento de amido ocorreu diminuição do ISA, possivelmente o amido não foi degradado a ponto de contribuir, efetivamente, com moléculas solúveis.

c. Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido

O efeito combinado de temperatura de extrusão e teor de amido pode ser observado na figura 12, onde verificou-se que aumentos na temperatura incrementaram o ISA para uma faixa de alto conteúdo de amido. Já na região de baixo conteúdo de amido o ISA diminuiu com incrementos de temperatura. Em altas temperaturas o teor de amido, praticamente, não exerceu influência no ISA, enquanto que a baixas temperaturas o efeito do amido foi pronunciado.

Maiores valores de ISA foram encontrados para baixa temperatura e baixo teor de amido, enquanto que o menor ISA ocorre à baixa temperatura e alto teor de amido.

d. Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar

A superfície de resposta, apresentada na figura 13, ilustra o efeito combinado de temperatura de extrusão e teor de açúcar.

Observou-se que, para qualquer temperatura, incrementos no teor de açúcar contribuíram para aumentar o ISA.

A temperatura apresentou uma região estacionária entre 120 e 150°C de menor valor de ISA, fora dessa região, decréscimos ou acréscimos na temperatura incrementaram o valor de ISA, atingindo maior valor à temperatura de 210°C.

e. Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido

O ISA diminuiu numa relação linear com aumentos no teor de umidade e de amido. Assim, maior ISA ocorreu em baixa umidade e menor conteúdo de amido, o que pôde ser verificado pela superfície de resposta mostrada na figura 14.

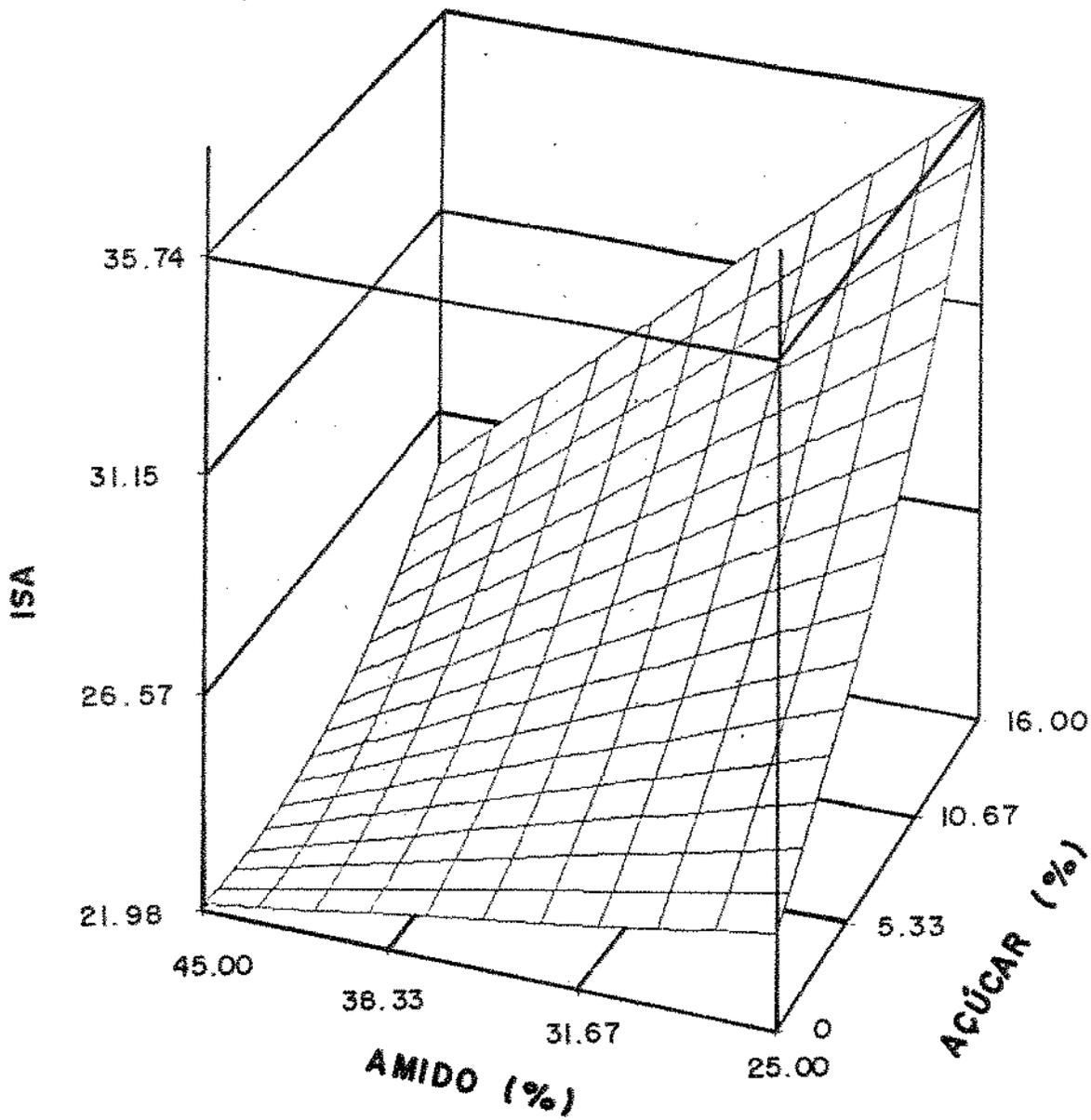


Figura 11: Efeito de teor de amido e teor de açúcar no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, umidade = 19%)

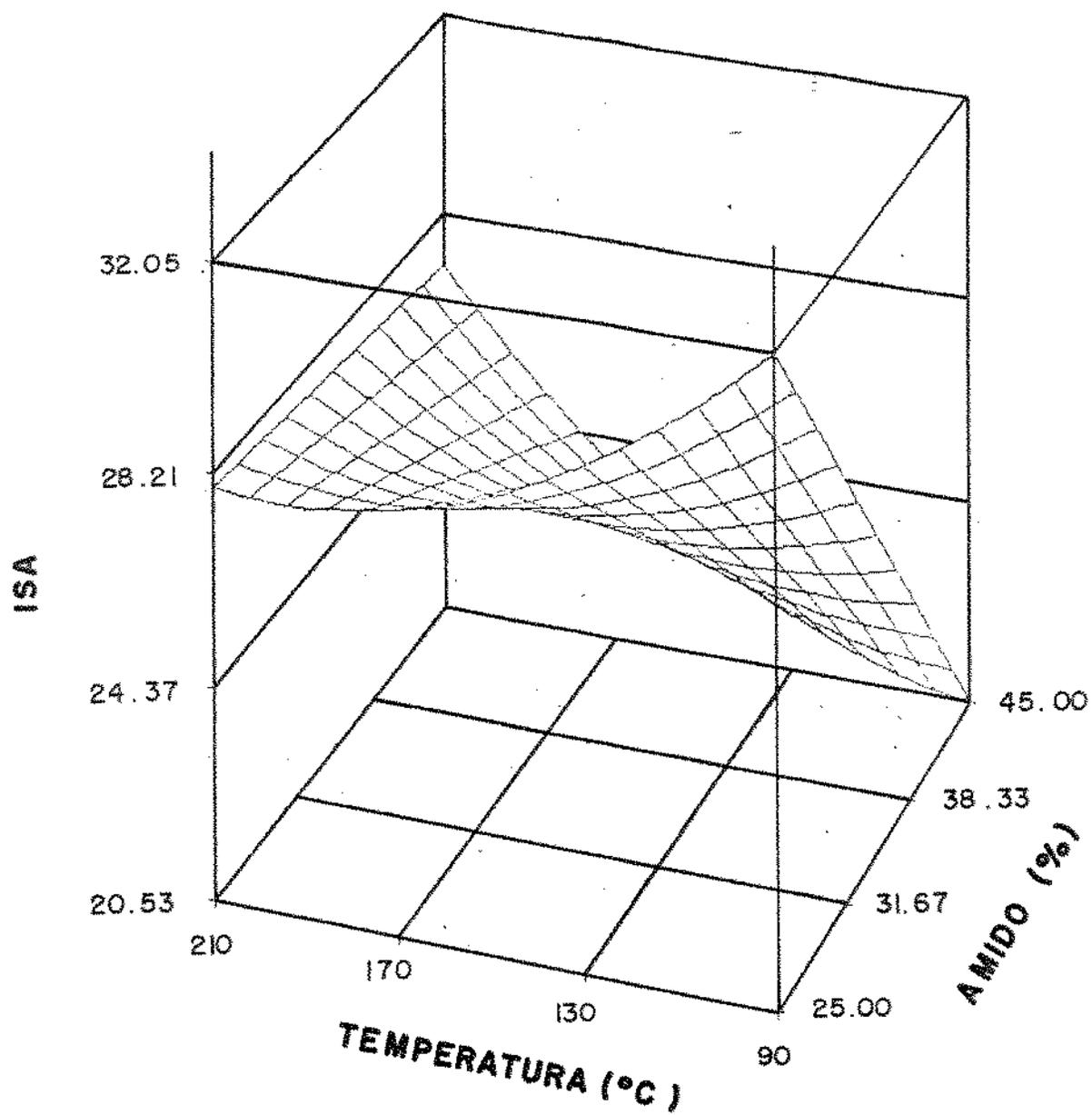


Figura 12: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%, umidade = 19%)

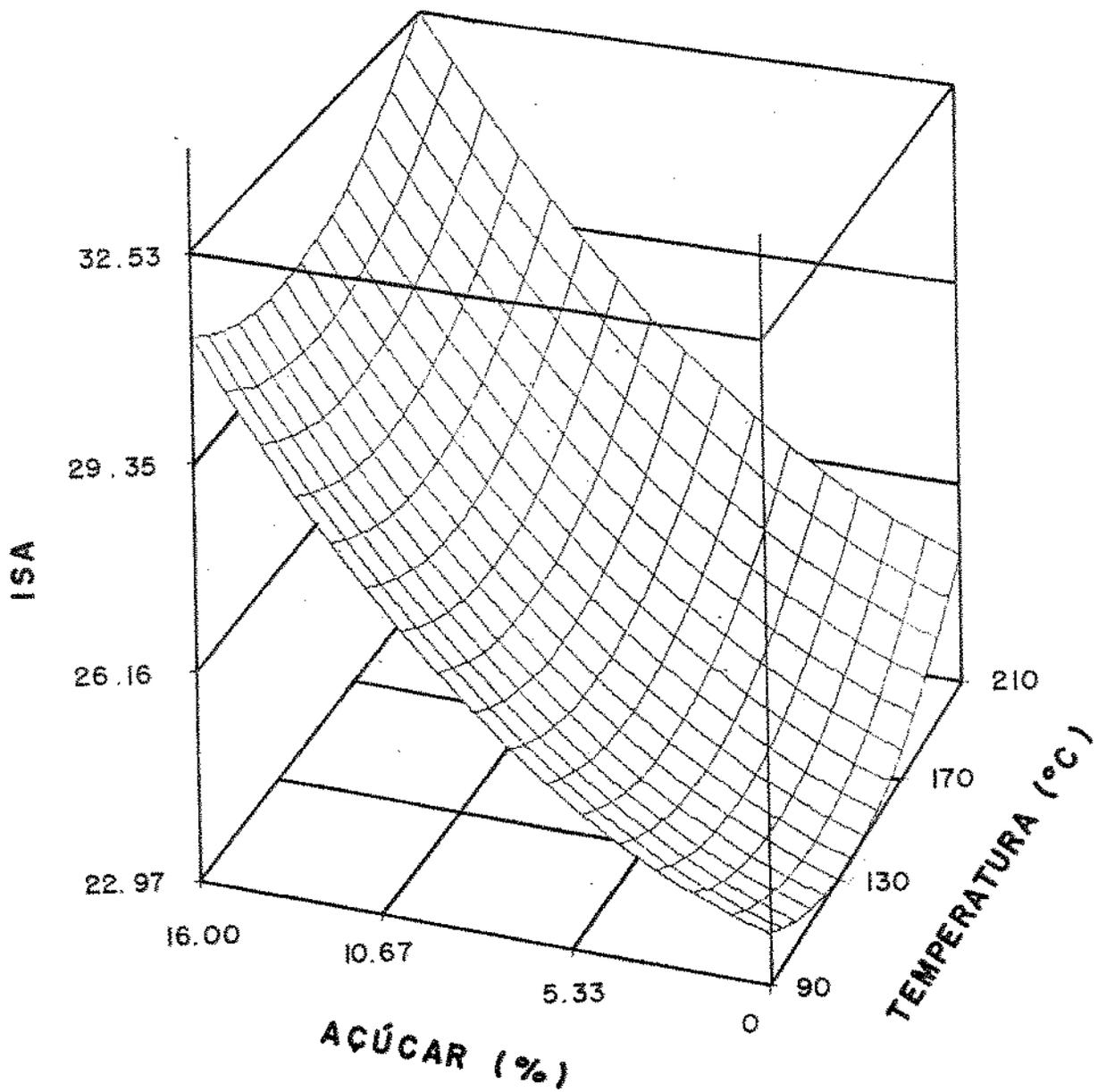


Figura 13: Efeito de teor de açúcar e temperatura de extrusão no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)

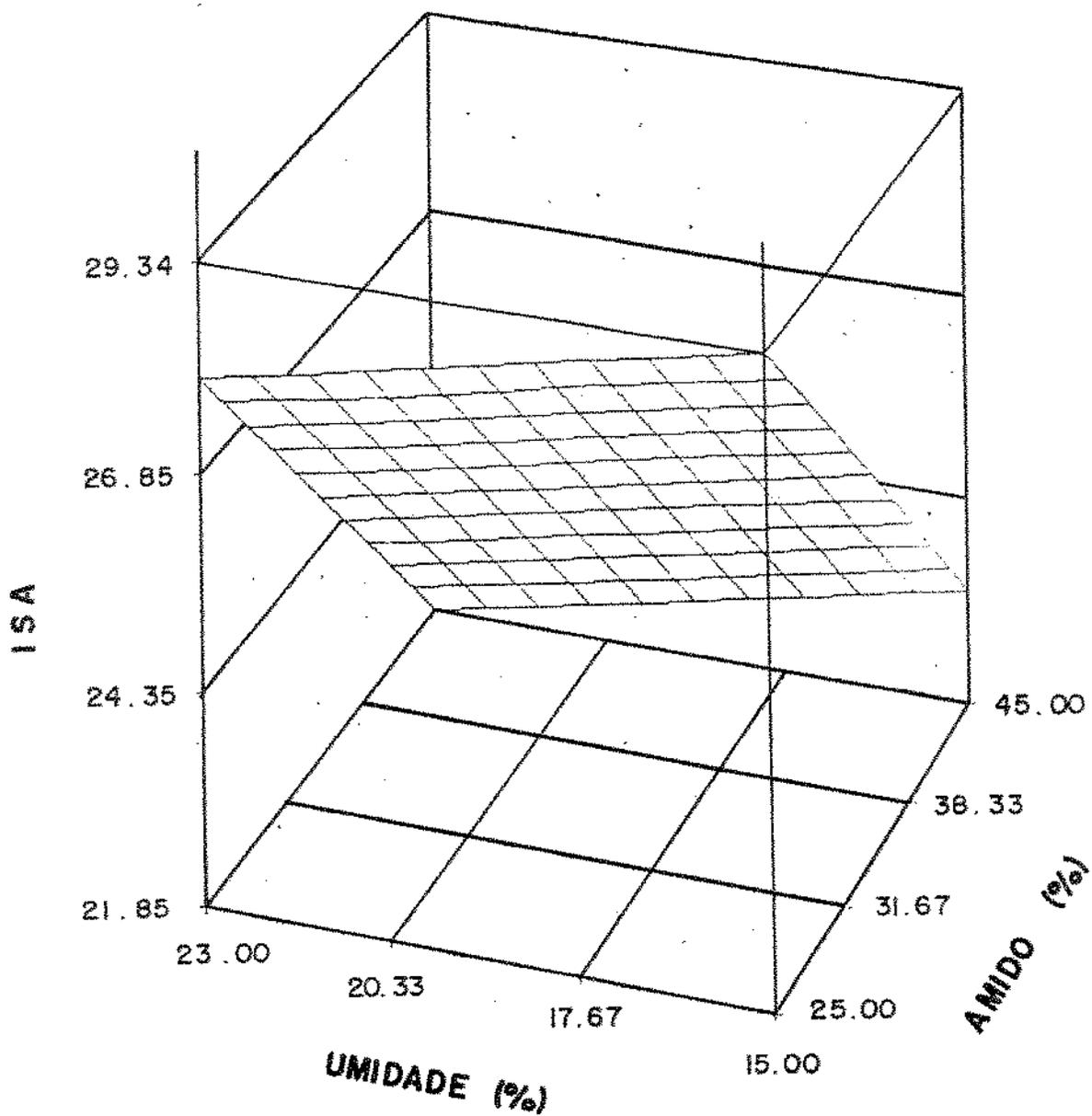


Figura 14: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%, temperatura = 150°C)

f. Efeito da umidade e teor de açúcar

O efeito da umidade da matéria-prima e teor de açúcar na solubilidade dos extrusados de germe de trigo pôde ser visualizado através da superfície de resposta apresentada na figura 15.

O ISA aumentou com aumentos de açúcar e decréscimo no conteúdo de água, obtendo-se maior valor de ISA em condições de baixa umidade e alto conteúdo de açúcar. Em condições de baixa umidade, o atrito mecânico é maior, provocando maior degradação do grânulo de amido, aumentando o ISA.

Considerando o efeito das quatro variáveis estudadas sobre o índice de solubilidade em água, verificou-se que maior ISA ocorreu nas seguintes condições: alto conteúdo de açúcar e baixo conteúdo de amido, sob temperatura e umidade baixas, ou, temperatura e umidade altas.

O aumento da solubilidade verificado nos produtos extrusados é atribuído à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina, em consequência da gelatinização quando as condições operacionais são mais brandas e a formação de compostos de baixo peso molecular, quando as condições são mais severas (COLONNA, P. et al., 1984; MERCIER, FEILLET, 1975)

3. Taxa de expansão

A expansão do produto extrusado depende, principalmente, do grau de amido gelatinizado e da taxa de evaporação de água (CHANG, 1989).

Os valores experimentais encontrados para taxa de expansão se encontram na tabela 25.

Por meio de análise de variância dos dados experimentais de expansão, ajustou-se um modelo de regressão em função das variáveis estudadas.

O polinômio representativo desse modelo pode ser visto na equação 3.

$$y = 0,42 + 6,41 \cdot 10^{-3}T + 2,83 \cdot 10^{-3}M - 2,32 \cdot 10^{-2}C - \\ - 1,87 \cdot 10^{-5}T^2 + 1,77 \cdot 10^{-4}TC$$

(equação 3)

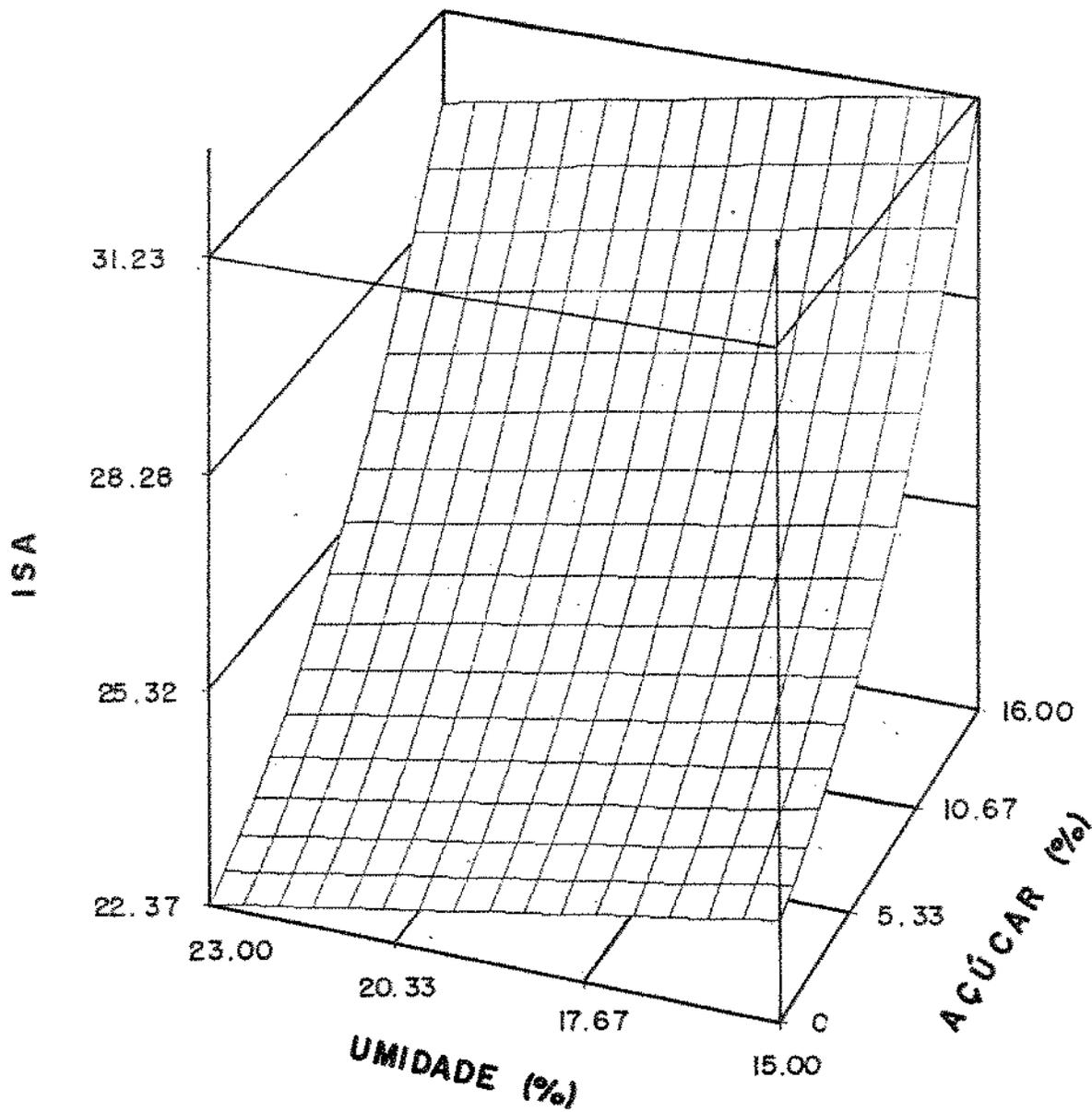


Figura 15: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar no índice de solubilidade em água (%) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, temperatura = 150°C)

Tabela 25: Influência das variáveis do processo de extrusão na taxa de expansão dos produtos extrusados à base de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão				Taxa de expansão
	X_1	X_2	X_3	X_4	
01	17	120	30	4	0,98
02	21	120	30	4	0,98
03	17	180	30	4	1,12
04	21	180	30	4	1,07
05	17	120	40	4	0,98
06	21	120	40	4	1,03
07	17	180	40	4	1,18
08	21	180	40	4	1,07
09	17	120	30	12	0,98
10	21	120	30	12	0,97
11	17	180	30	12	1,15
12	21	180	30	12	1,10
13	17	120	40	12	0,98
14	21	120	40	12	0,97
15	17	180	40	12	1,20
16	21	180	40	12	1,26
17	15	150	35	8	1,11
18	23	150	35	8	1,07
19	19	90	35	8	0,96
20	19	210	35	8	1,12
21	19	150	25	8	1,10
22	19	150	45	8	1,11
23	19	150	35	0	1,09
24	19	150	35	16	1,15
25	19	150	35	8	1,12
26	19	150	35	8	1,11
27	19	150	35	8	1,10
28	19	150	35	8	1,07
29	19	150	35	8	1,09
30	19	150	35	8	1,08
31	19	150	35	8	1,07

X_1 = umidade da matéria-prima (%)

X_2 = temperatura de extrusão (°C)

X_3 = teor de amido na matéria-prima (%)

X_4 = teor de açúcar na matéria-prima (%)

Pela ANOVA apresentada na tabela 26, o modelo de regressão ajustado explica 79% da variação de expansão ($R^2 = 0,7876$) e foi estatisticamente significativo ao nível de $p = 0,0001$. A ANOVA indicou que a temperatura de extrusão foi a variável de maior significância para expansão seguida de teor de açúcar e amido. A umidade foi considerada não significativa para essa resposta dentro da região estudada.

a. Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido

O efeito combinado de temperatura e amido sobre a taxa de expansão pode ser visualizado na superfície de resposta da figura.16, onde se verificou que aumentos de temperatura até 200°C incrementaram a taxa de expansão. Para qualquer temperatura a expansão manteve uma relação linear e direta com teor de amido, ocorrendo pequeno aumento de expansão com incremento de amido.

Portanto, maior taxa de expansão ocorreu para temperatura de 200°C e alto conteúdo de amido.

Comportamento semelhante foi encontrado por SREBERNICH (1989) em extrusão de amido de sorgo, onde aumentos de expansão ocorreram com aumentos de temperatura, até atingir um valor máximo na faixa de 170-190°, declinando a seguir.

A expansão é uma decorrência da evaporação da água superaquecida, em virtude da descompressão que o produto sofre ao sair da matriz. Assim sendo, quanto maior for a temperatura, mais alta é a pressão, e mais rápida é a evaporação e, conseqüentemente, maior a expansão. Contudo, em temperaturas muito elevadas, a evaporação ocorre de modo violento, podendo provocar o rompimento da estrutura, impedindo a expansão (EL-DASH, 1982).

b. Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar

A figura 17 apresenta a superfície de resposta elaborada para taxa de expansão em função da temperatura de extrusão e teor de açúcar.

Verificou-se que para qualquer nível de açúcar a expansão aumentou com aumento da temperatura, mostrando uma tendência a estabilizar numa região de baixo teor de açúcar e alta temperatura.

Tabela 26: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para taxa de expansão

Média das respostas	1,08
Desvio padrão	0,04
Coefficiente de variação	3,50
R^2	0,7876

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	5	0,1313	0,0263	18,54	0,0001
Resíduo	25	0,0354	0,0014		
Total	30	0,1667			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	0,42	
T	$6,41 \cdot 10^{-3}$	0,0134
M	$2,83 \cdot 10^{-3}$	0,0771
C	$- 2,32 \cdot 10^{-2}$	0,0626
T^2	$- 1,87 \cdot 10^{-5}$	0,0229
TC	$1,77 \cdot 10^{-4}$	0,0329

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

M = teor de amido (%)

C = teor de açúcar (%)

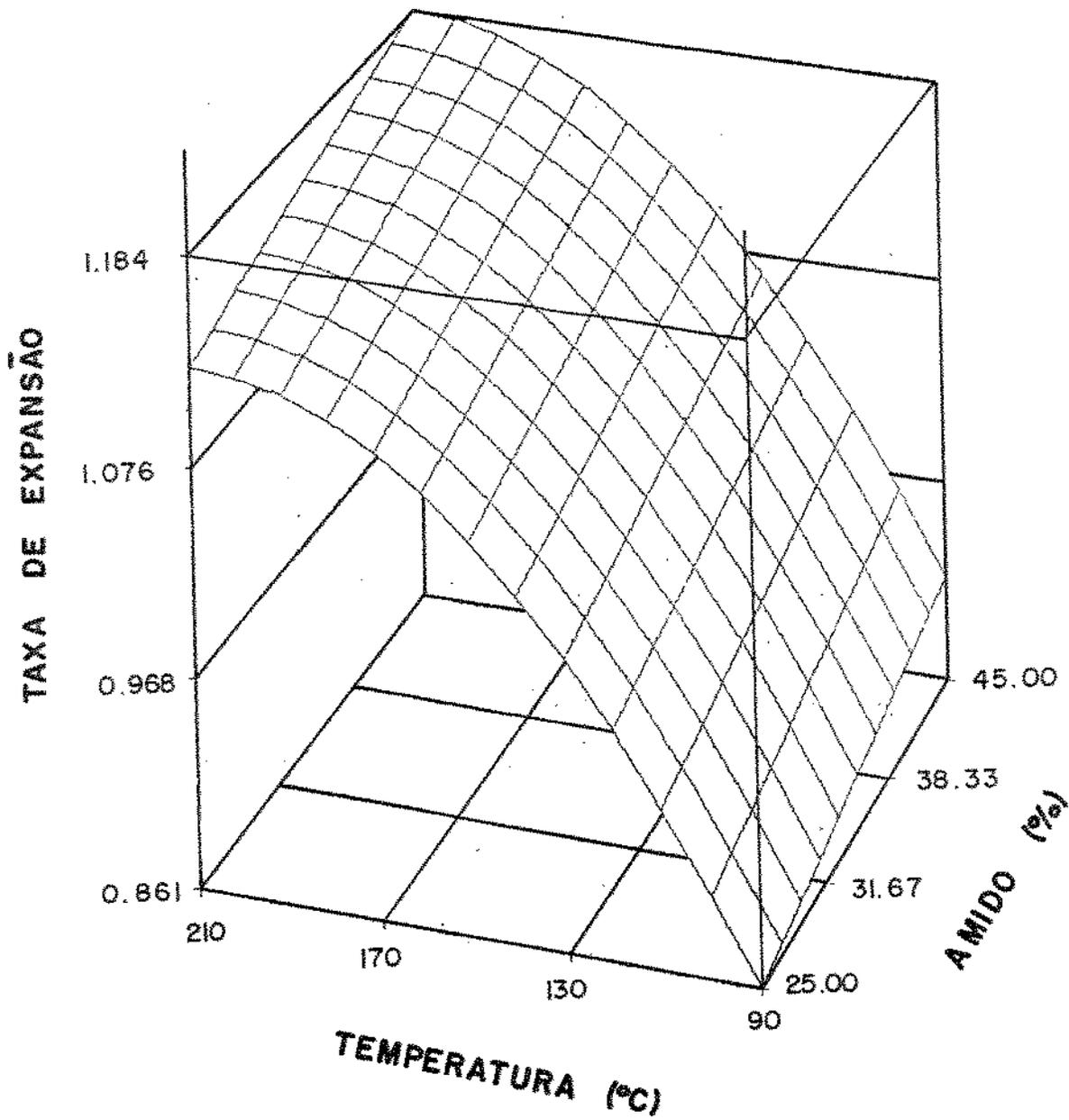


Figura 16: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido na taxa de expansão de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%)

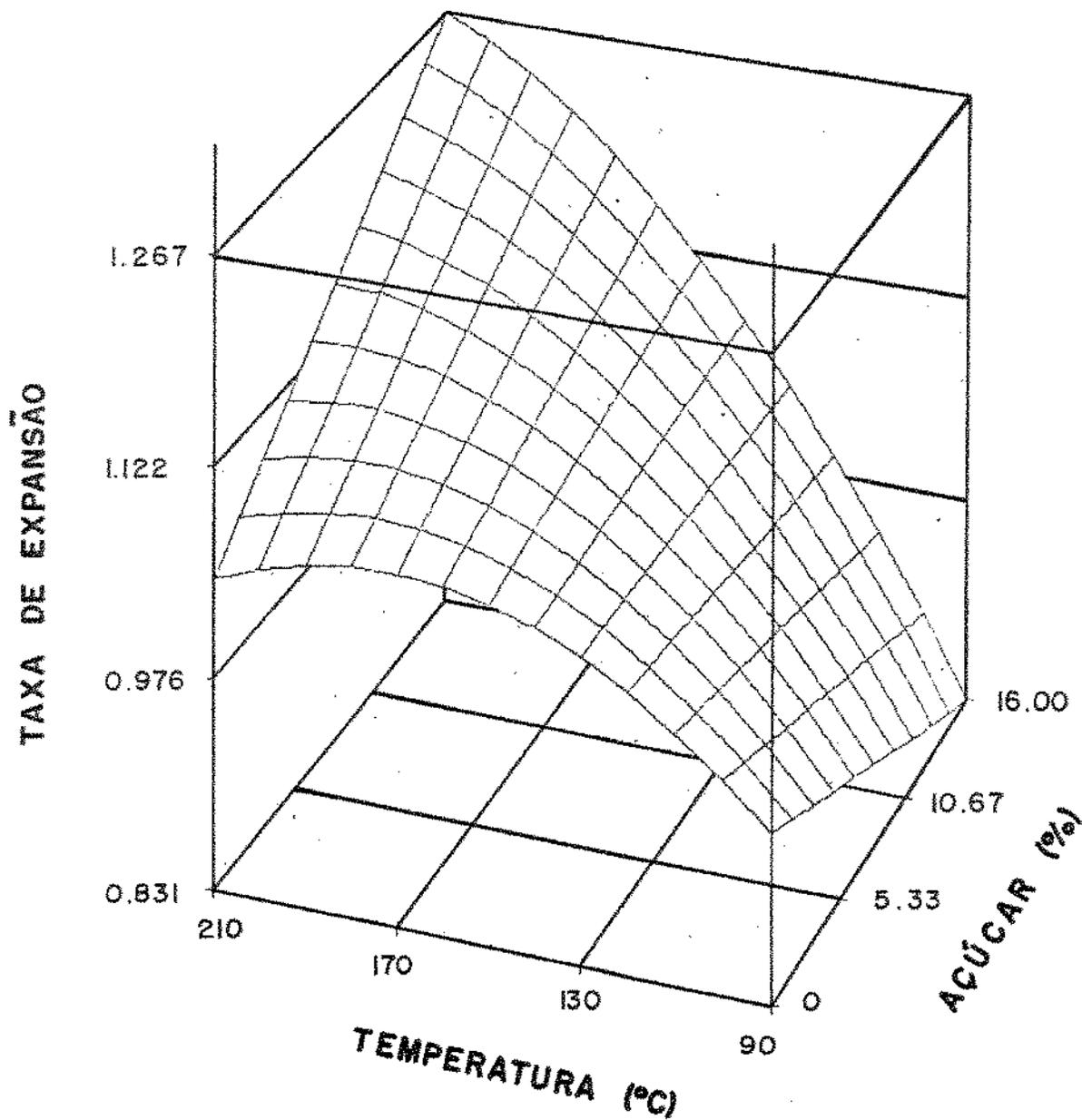


Figura 17. Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar na taxa de expansão de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%)

Já o teor de açúcar, provocou distintas influências na expansão dentro da região estudada. Em baixa temperatura, um aumento do conteúdo de açúcar diminuiu a expansão, enquanto que sob altas temperaturas essa relação foi invertida, e a expansão aumentou diretamente com o conteúdo de açúcar.

Dessa forma, maior expansão foi obtida a alta temperatura (210°C) e alto teor de açúcar e menor expansão se obteve à baixa temperatura e alto teor de açúcar.

Juntando-se o efeito das três variáveis que se apresentaram significativas na variação de taxa de expansão, foi possível obter maior taxa de expansão nas condições de alta temperatura e altos teores de amido e açúcar. Menores taxas de expansão ocorrem à baixa temperatura, baixo teor de amido e alto conteúdo de açúcar.

4. Densidade

A densidade do produto extrusado pode fornecer indicações sobre suas características estruturais e de absorção de água. Está relacionada com a expansão, pois produtos mais expandidos em geral são menos densos e vice-versa.

É um dos parâmetros utilizados na especificação de embalagens, transporte e armazenamento.

De acordo com os dados experimentais (tabela 27), foi estabelecido um modelo de regressão reajustado aos efeitos significativos, indicados pela análise de variância do modelo de regressão completo.

A adequabilidade do modelo simplificado é dada pelo alto nível de significância ($p = 0,0001$) e pelo coeficiente de determinação múltipla ($R^2 = 0,7331$) (tabela 28). Dada a complexidade do processo de extrusão, este pode ser considerado um bom modelo, porém deve ser empregado com cautela para fins preditivos.

Ainda pela ANOVA, o efeito linear de temperatura é altamente significativo ($p = 0,0001$). A umidade linear mostrou ser não significativa, porém no efeito quadrático apresentou nível de significância de $p = 0,0274$.

A variação dos ingredientes (amido e açúcar) também apontou influência sobre a densidade.

A equação 4 descreve o modelo de regressão ajustado para densidade.

$$Y = 1,01 + 3,38 \cdot 10^{-2}U - 1,11 \cdot 10^{-3}T - 3,50 \cdot 10^{-2}M + \\ + 2,08 \cdot 10^{-3}C - 2,58 \cdot 10^{-3}U^2 + 1,88 \cdot 10^{-3}UM$$

(equação 4)

Tabela 27: Influência das variáveis do processo de extrusão na densidade dos produtos extrusados à base de germe de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão				Densidade (g de m. s. [*] /cm ³)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
01	17	120	30	4	0,63
02	21	120	30	4	0,60
03	17	180	30	4	0,54
04	21	180	30	4	0,54
05	17	120	40	4	0,56
06	21	120	40	4	0,60
07	17	180	40	4	0,54
08	21	180	40	4	0,56
09	17	120	30	12	0,66
10	21	120	30	12	0,58
11	17	180	30	12	0,56
12	21	180	30	12	0,53
13	17	120	40	12	0,57
14	21	120	40	12	0,67
15	17	180	40	12	0,56
16	21	180	40	12	0,56
17	15	150	35	8	0,55
18	23	150	35	8	0,57
19	19	90	35	8	0,66
20	19	210	35	8	0,50
21	19	150	25	8	0,56
22	19	150	45	8	0,61
23	19	150	35	0	0,57
24	19	150	35	16	0,61
25	19	150	35	8	0,60
26	19	150	35	8	0,64
27	19	150	35	8	0,64
28	19	150	35	8	0,61
29	19	150	35	8	0,59
30	19	150	35	8	0,59
31	19	150	35	8	0,58

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

X₃ = teor de amido na matéria-prima (%)

X₄ = teor de açúcar na matéria-prima (%)

* m. s. = matéria-prima

Tabela 28: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para densidade

Média das respostas	0,59
Desvio padrão	0,02
Coeficiente de variação	4,08
R ²	0,7331

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	6	0,0375	0,0063	10,98	0,0001
Resíduo	24	0,0137	0,0006		
Total	30	0,0512			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	1,01	
U	$3,38 \cdot 10^{-2}$	0,4775
T	$-1,11 \cdot 10^{-3}$	0,0001
M	$-3,50 \cdot 10^{-2}$	0,0052
C	$2,08 \cdot 10^{-3}$	0,0999
U ²	$-2,58 \cdot 10^{-3}$	0,0274
UM	$1,88 \cdot 10^{-3}$	0,0044

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

M = teor de amido (%)

C = teor de açúcar (%)

Os efeitos das variáveis estudadas sobre a densidade serão discutidos a seguir.

a. Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima.

Como mostra a figura 18, a densidade dos produtos extrusados diminuiu com aumento de temperatura para qualquer nível de umidade.

A umidade contribuiu para menor densidade nos seus extremos e maior densidade foi obtida para umidades médias (19-20%).

Dessa forma, produtos menos densos, mais porosos são obtidos com altas temperaturas e umidades altas ou baixas, enquanto que produtos mais densos mais compactados ocorreram para umidade intermediária de 19 a 20% e baixa temperatura de extrusão.

b. Efeito do teor de amido e teor de açúcar

Na figura 19, a superfície de resposta mostra que a densidade manteve uma relação direta e linear com teor de amido e açúcar, sendo que a variação do açúcar provocou um efeito mais pronunciado sobre densidade do que o amido.

Com maior conteúdo dos ingredientes (amido e açúcar) produtos mais densos foram obtidos.

c. Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido

Pela figura 20, verificou-se que aumento do teor de amido provocou ligeiro aumento de densidade. Já a variação de temperatura exerceu maior influência sobre a densidade. Também numa relação linear, aumentos de temperatura contribuíram para menor densidade.

As tendências da densidade em função de temperatura e açúcar foram bastante semelhantes ao efeito combinado de temperatura e amido, o que pode ser verificado pela figura 21.

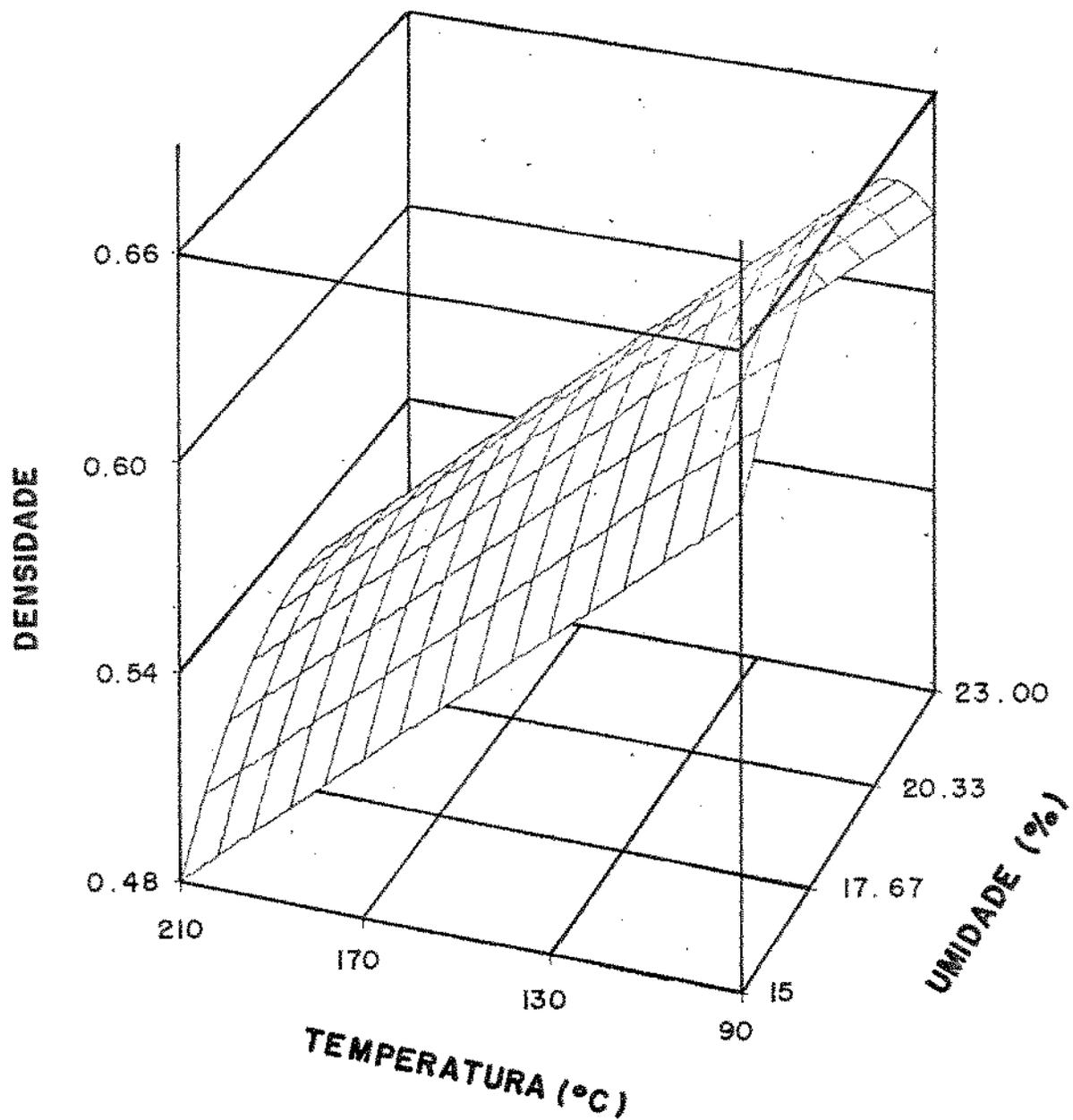


Figura 18: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria- prima na densidade (g/cm^3) de extrusados de germe de trigo (amido = 35%, açúcar = 8%)

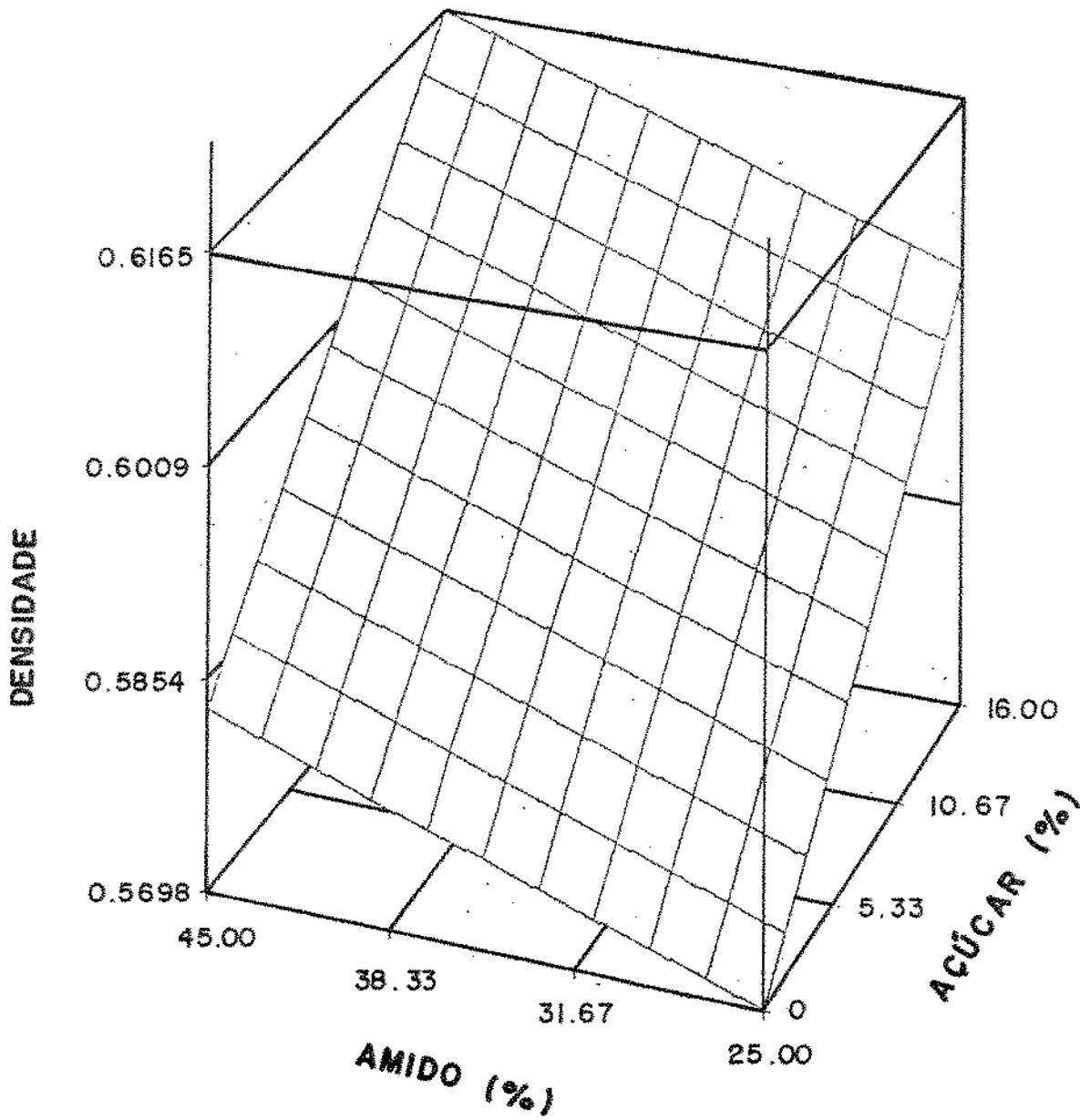


Figura 19. Efeito de teor de amido e teor de açúcar na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, temperatura = 150°C)

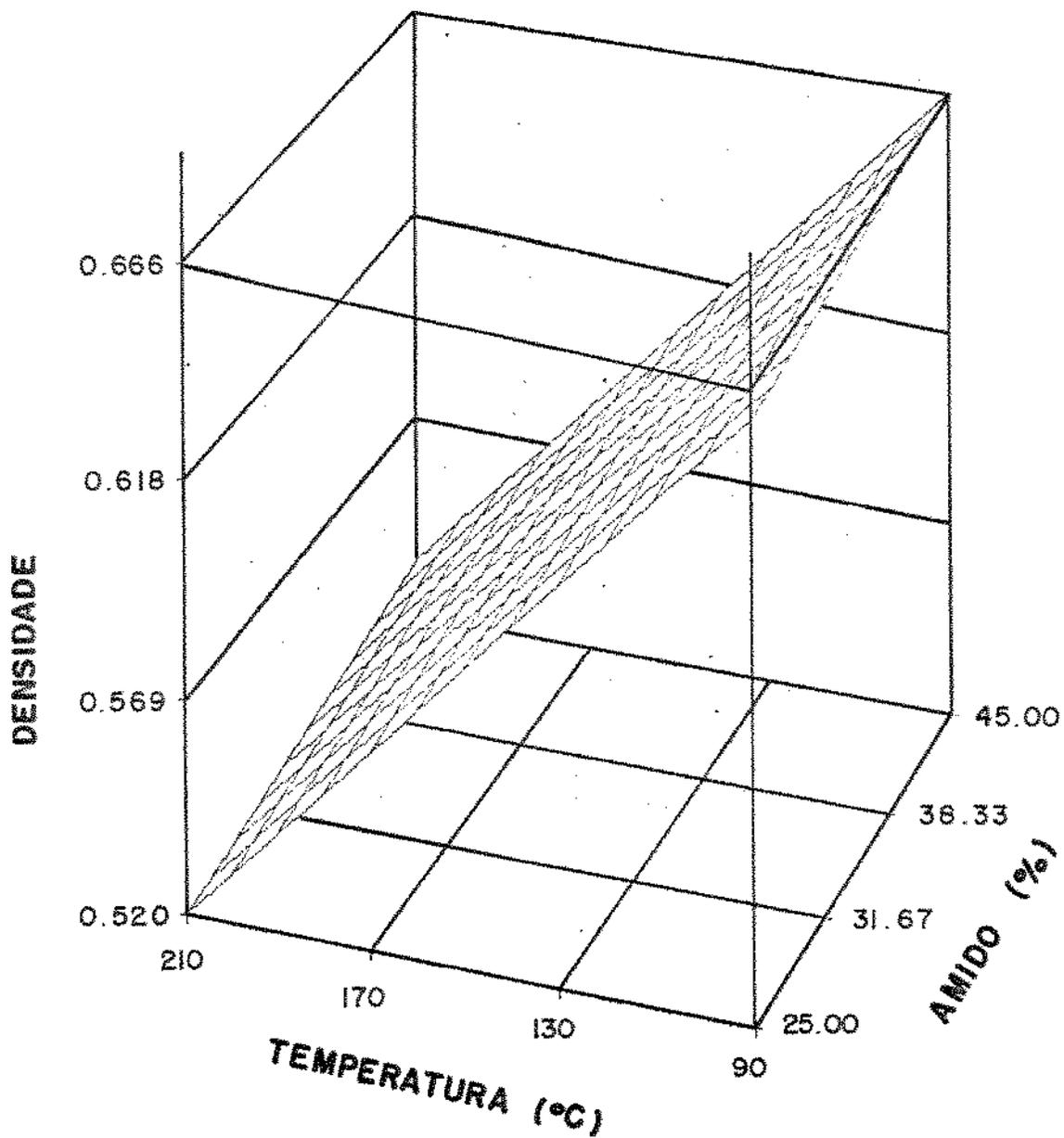


Figura 20: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%)

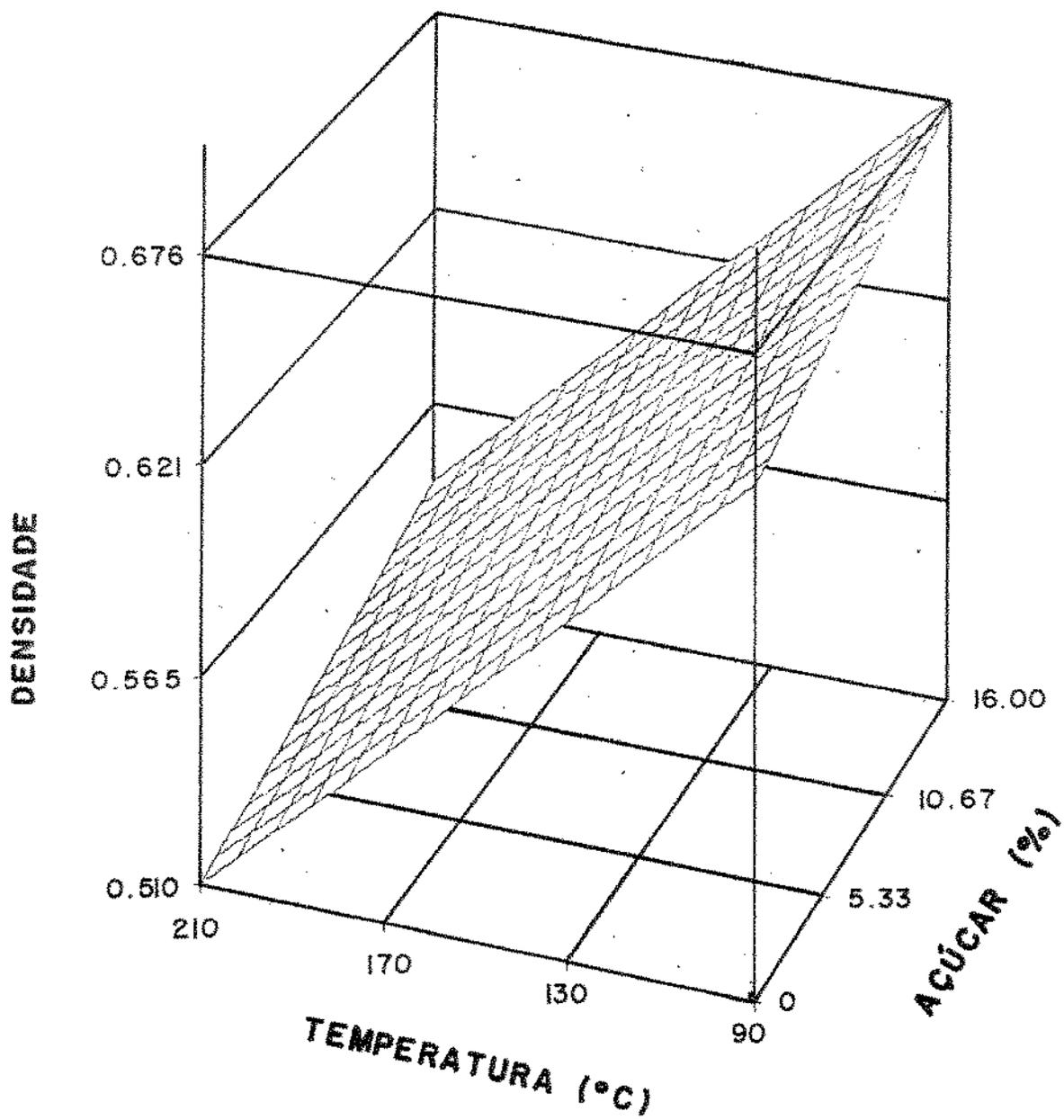


Figura 21: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)

d. Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido

Neste caso ocorreu um ponto de sela dentro da região estudada, o que pode ser verificado pelo diagrama de superfície de resposta apresentado na figura 22.

Para região de alta umidade a densidade aumentou na direção de maior teor de amido, enquanto que para região de baixa umidade a densidade diminuiu com maior teor de amido.

Na região de alto conteúdo de amido a densidade aumentou com aumento da umidade e efeito contrário da umidade sobre densidade foi observado numa região de baixo teor de amido.

Dessa forma, a mesma densidade pode ser obtida sob diferentes condições, ou seja, produtos mais densos ocorrem em baixas umidades e menor teor de amido, ou nos extremos opostos, e produtos mais leves, mais porosos são obtidos sob condições de alta umidade e maior conteúdo de amido.

e. Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar

O efeito dessas duas variáveis sobre densidade é ilustrado na figura 23, pela superfície de resposta, onde a variação no teor de açúcar manteve a mesma tendência para densidade, ou seja, maiores teores de açúcar contribuíram para aumentar a densidade.

A umidade contribuiu para menores densidades nos seus extremos e maior densidade ocorreu num nível médio de umidade, ao redor de 19%.

Conforme o estudo do efeito das 4 variáveis sobre densidade, menor temperatura e maior conteúdo de açúcar aumentam a densidade, no entanto para umidade e amido, diversas combinações contribuem para maior densidade.

Através da equação 4, foi encontrada uma combinação das quatro variáveis que conduzem a maior densidade, qual seja: baixa temperatura, alta umidade e altos teores de amido e açúcar.

Já para menor densidade, duas combinações de amido e umidade são possíveis, ou seja, baixa umidade e alto teor de amido, ou alta umidade e baixo teor de amido, sob altas temperaturas e com baixos teores de açúcar.

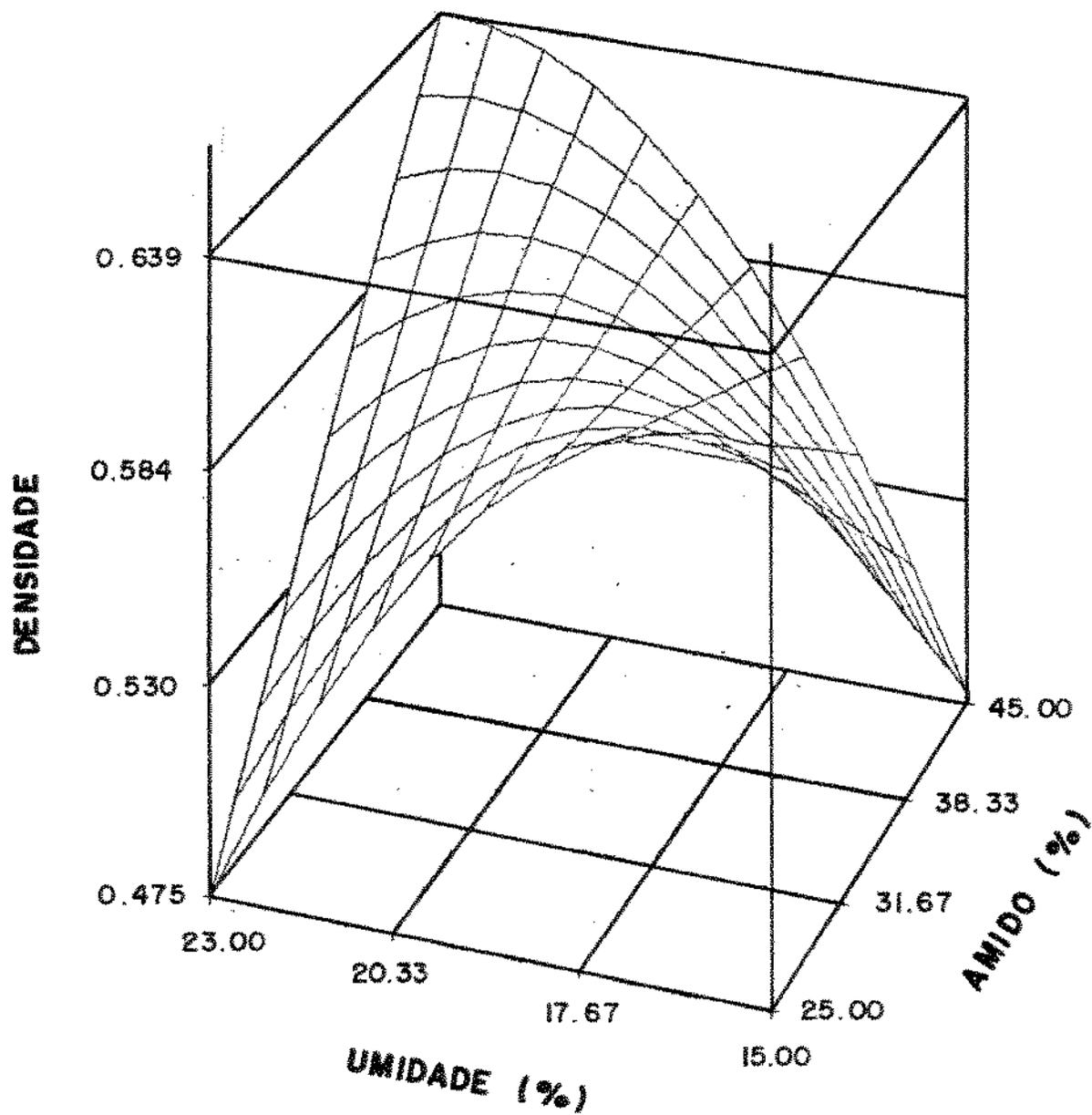


Figura 22: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%, temperatura = 150°C)

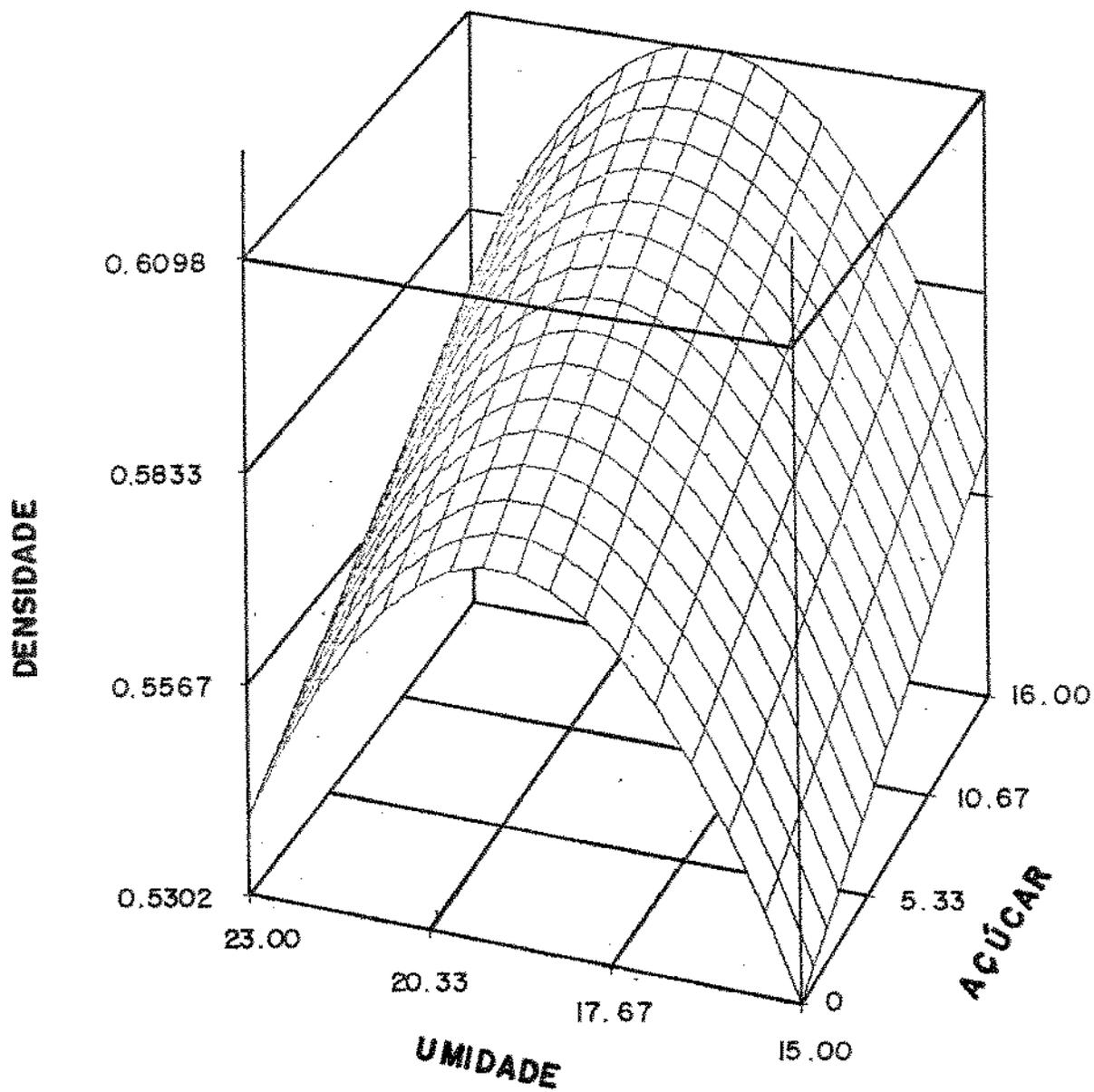


Figura 23: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar na densidade (g/cm^3) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, temperatura = 150°C)

5. Resistência à ruptura (dureza)

A dureza do produto extrusado é uma propriedade que depende do grau de expansão e da forma pelo qual as camadas de amido e proteína se alinham e se agregaram na formação da estrutura final do produto (CHANG, 1989).

O conhecimento da resistência à ruptura é importante quando o produto é destinado a uma moagem posterior e para avaliação da força a ser aplicada durante a mordida do alimento para o seu trituramento.

Os resultados de dureza obtidos experimentalmente estão apresentados na tabela 29.

Na análise de variância elaborada para dureza em função das quatro variáveis estudadas encontrou-se um modelo de regressão significativo ao nível de $p = 0,0005$ e um coeficiente de regressão múltipla $R^2 = 0,87$. Porém, os efeitos quadráticos das variáveis foram não significativos ($p = 0,6565$).

Dessa forma, novo modelo foi reajustado em função dos efeitos significativos.

A tabela 30 mostra a ANOVA do modelo reajustado que foi significativo ao nível de $p = 0,0001$ e explica 80% das variações de dureza ($R^2 = 0,79$). Neste caso, o polinômio representativo do modelo, descrito na equação 5 pode ser empregado, com certa cautela para prever respostas de dureza em função das quatro variáveis estudadas.

$$y = - 40,73 + 2,26U + 1,97 \cdot 10^{-1}T + 1,88 \cdot 10^{-1}M + \\ + 0,18C - 1,20 \cdot 10^{-2}UT$$

(equação 5)

Os efeitos das variáveis sobre dureza, serão discutidos a seguir.

Tabela 29: Influência das variáveis do processo de extrusão na dureza dos produtos extrusados à base de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão				Taxa de Dureza (kgf)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
01	17	120	30	4	3,46
02	21	120	30	4	6,66
03	17	180	30	4	2,77
04	21	180	30	4	2,89
05	17	120	40	4	4,22
06	21	120	40	4	8,95
07	17	180	40	4	4,64
08	21	180	40	4	5,88
09	17	120	30	12	5,55
10	21	120	30	12	9,41
11	17	180	30	12	4,35
12	21	180	30	12	*
13	17	120	40	12	6,60
14	21	120	40	12	*
15	17	180	40	12	4,70
16	21	180	40	12	6,54
17	15	150	35	8	3,85
18	23	150	35	8	5,61
19	19	90	35	8	5,51
20	19	210	35	8	3,30
21	19	150	25	8	2,34
22	19	150	45	8	7,78
23	19	150	35	0	4,31
24	19	150	35	16	7,07
25	19	150	35	8	5,79
26	19	150	35	8	5,41
27	19	150	35	8	5,61
28	19	150	35	8	5,34
29	19	150	35	8	5,12
30	19	150	35	8	5,31
31	19	150	35	8	4,96

* esses valores não foram considerados na análise de variância por excederem o valor máximo da escala usada

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

X₃ = teor de amido na matéria-prima (%)

X₄ = teor de açúcar na matéria-prima (%)

Tabela 30: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para dureza

Média das respostas	5,31
Desvio padrão	0,84
Coefficiente de variação	15,80
R ²	0,7977

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	5	63,7456	12,7491	18,14	0,0001
Resíduo	23	16,1680	0,7030		
Total	28	79,9137			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	-40,73	
U	2,26	0,0005
T	$1,97 \cdot 10^{-1}$	0,0112
M	$1,88 \cdot 10^{-1}$	0,0001
C	0,18	0,0006
UT	$-1,20 \cdot 10^{-2}$	0,0042

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

M = teor de amido (%)

C = teor de açúcar (%)

a. Efeito da temperatura de extrusão e umidade da matéria- prima

Conforme mostra o diagrama de superfície de resposta da figura 24, dentro do intervalo estudado para o comportamento de dureza, em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, ocorreu um ponto de sela, segmentando as tendências dos efeitos.

Assim, para baixas umidades, um incremento na temperatura provocou ligeiros aumentos de dureza, enquanto que para altas umidades um incremento de temperatura reduziu, drasticamente, a dureza.

Em região de alta temperatura ocorreu um pequeno decréscimo da dureza com incrementos na umidade, já para região de baixa temperatura incremento na umidade provocou grande aumento da dureza.

Dessa forma, produtos mais duros são obtidos à baixa temperatura e alta umidade, enquanto que produtos menos duros podem ocorrer em duas condições distintas, quais sejam: baixas temperatura e umidade, ou altas temperatura e umidade.

A maior dureza dos extrusados do germe de trigo, obtida sob condições de baixa temperatura e alta umidade, pode ser atribuída a uma taxa de evaporação lenta da água do produto, no momento em que este sai pela matriz, dando tempo para que a estrutura do produto se solidifique limitando, dessa forma a expansão e conferindo ao produto uma estrutura compacta.

A menor dureza de produtos obtidos a altas temperatura e umidade, está associada a uma evaporação mais rápida da água superaquecida antes da solidificação da estrutura, conferindo ao produto uma característica porosa, expandida e mais frágil.

A menor dureza dos produtos obtidos a baixas temperatura e umidade, pode estar associada ao fato de que o calor fornecido pela temperatura para uma massa menor de água tenha sido suficiente para acelerar a taxa de evaporação, causando certa expansão no produto, tornando-o menos duro. A menor dureza nessas condições pode também estar associada à uma maior degradação de amido (maior taxa de cisalhamento e atrito mecânico) que contribuem para melhor formação das redes contínuas de macromoléculas (amilopectina e amilose) proporcionando certa expansão ao produto e menor dureza.

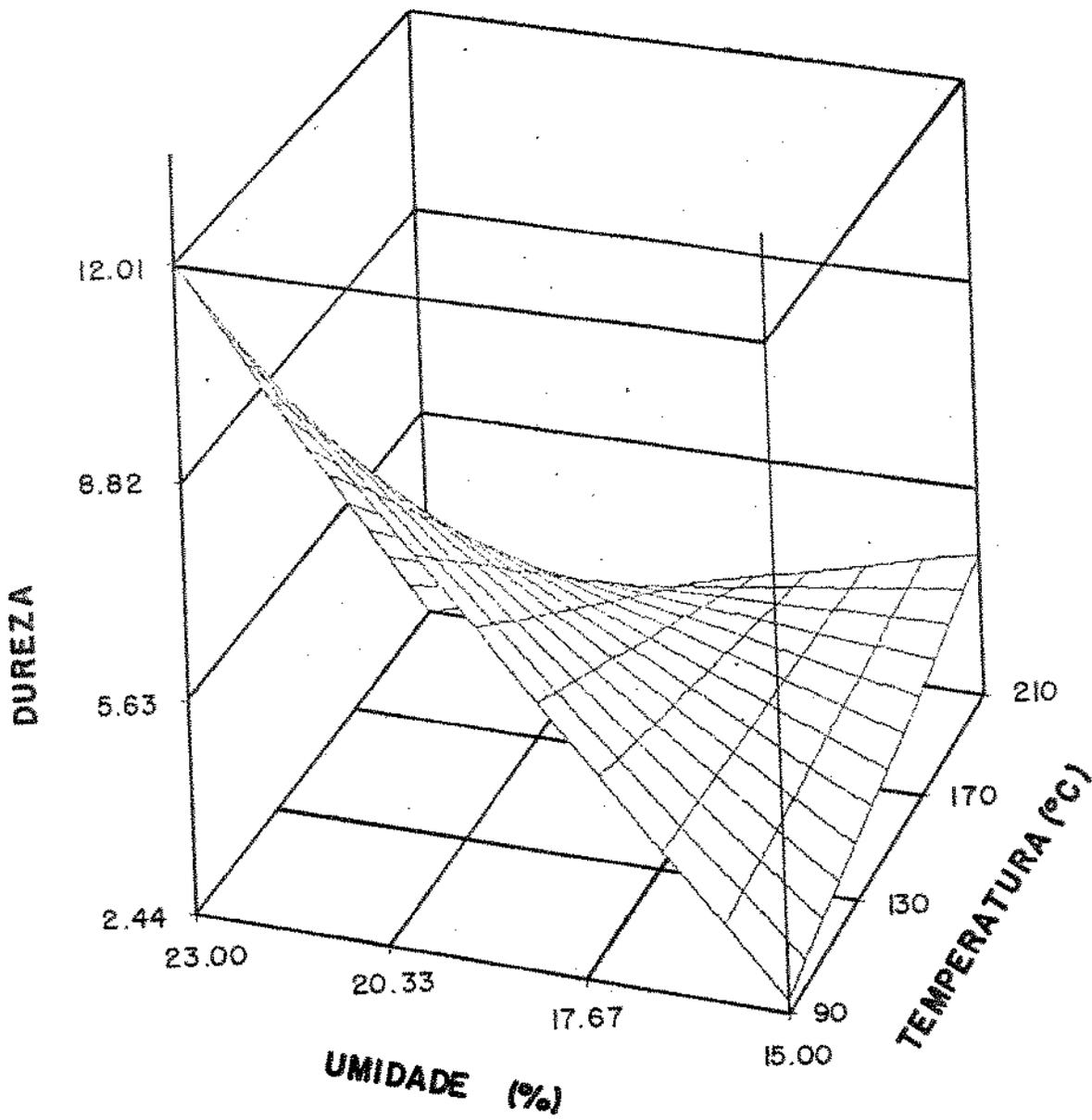


Figura 24: Efeito de umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, açúcar = 8%)

b. Efeito de teor de amido e teor de açúcar

Neste caso, verificou-se um aumento linear de dureza numa relação direta com teor de amido e de açúcar. Isto pode ser verificado pela figura 25.

Maior quantidade de amido contribuiu para maior quantidade de ligações hidrogênicas, com consequente fortalecimento da estrutura do produto extrusado. O mesmo comportamento pode ser atribuído ao açúcar.

c. Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido

A dureza dos produtos extrusados aumentou com acréscimos de amido e na direção de menor temperatura, para umidade fixa em 19%. Isto pode ser verificado através da superfície de resposta na figura 26. Portanto, nas condições de extrusão aqui empregadas, maior dureza ocorreu em baixa temperatura com alto teor de amido, e menor dureza nos extremos opostos dessas variáveis.

d. Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar

Neste caso, o comportamento de dureza foi semelhante ao encontrado para o efeito combinado de temperatura e amido, isto é, dureza aumentou com incremento de açúcar e decréscimos na temperatura. A superfície de resposta que representa esse efeito se encontra na figura 27

e. Efeito da umidade da matéria-prima e teor de amido

Pela figura 28 foi observado que aumento da umidade e incremento no conteúdo de amido, contribuíram para maior dureza do produto. Para diferentes quantidades de água, recebendo a mesma quantidade de calor (temperatura fixa em 150°C) ocorreria um acúmulo maior de calor para menor quantidade de água e, nessa condição, a taxa de evaporação seria mais rápida, proporcionando certa expansão do produto e menor dureza

f. Efeito da umidade da matéria-prima e teor de açúcar

O efeito de umidade e teor de açúcar sobre a dureza dos extrusados de germe de trigo foi bastante semelhante ao efeito combinado de umidade e teor de amido. Isto é, a dureza mostrou uma relação direta e linear com umidade e teor de açúcar, culminando com maior valor de dureza para altos teores de umidade e açúcar (figura 29).

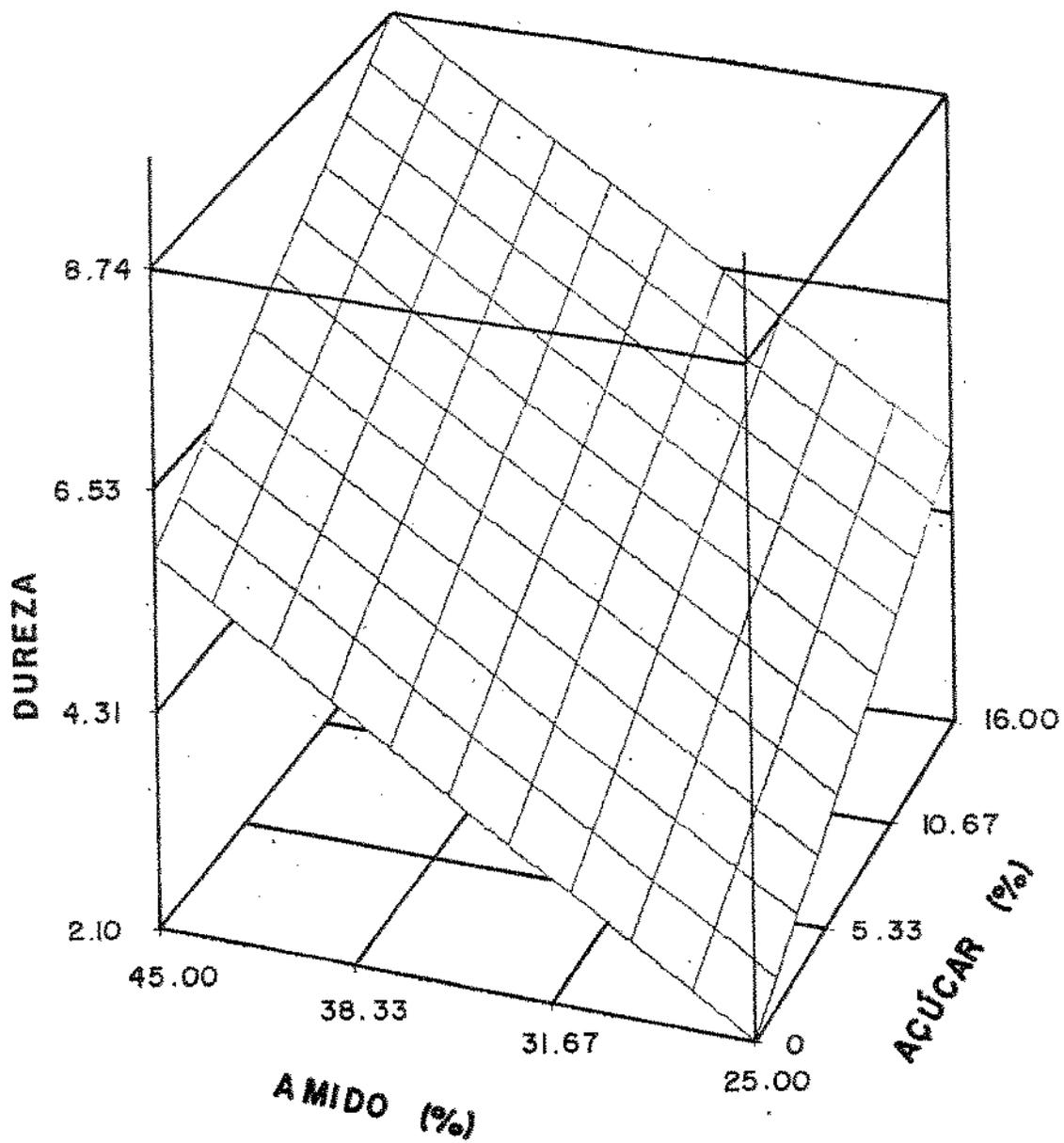


Figura 25: Efeito de teor de amido e teor de açúcar na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, umidade = 19%)

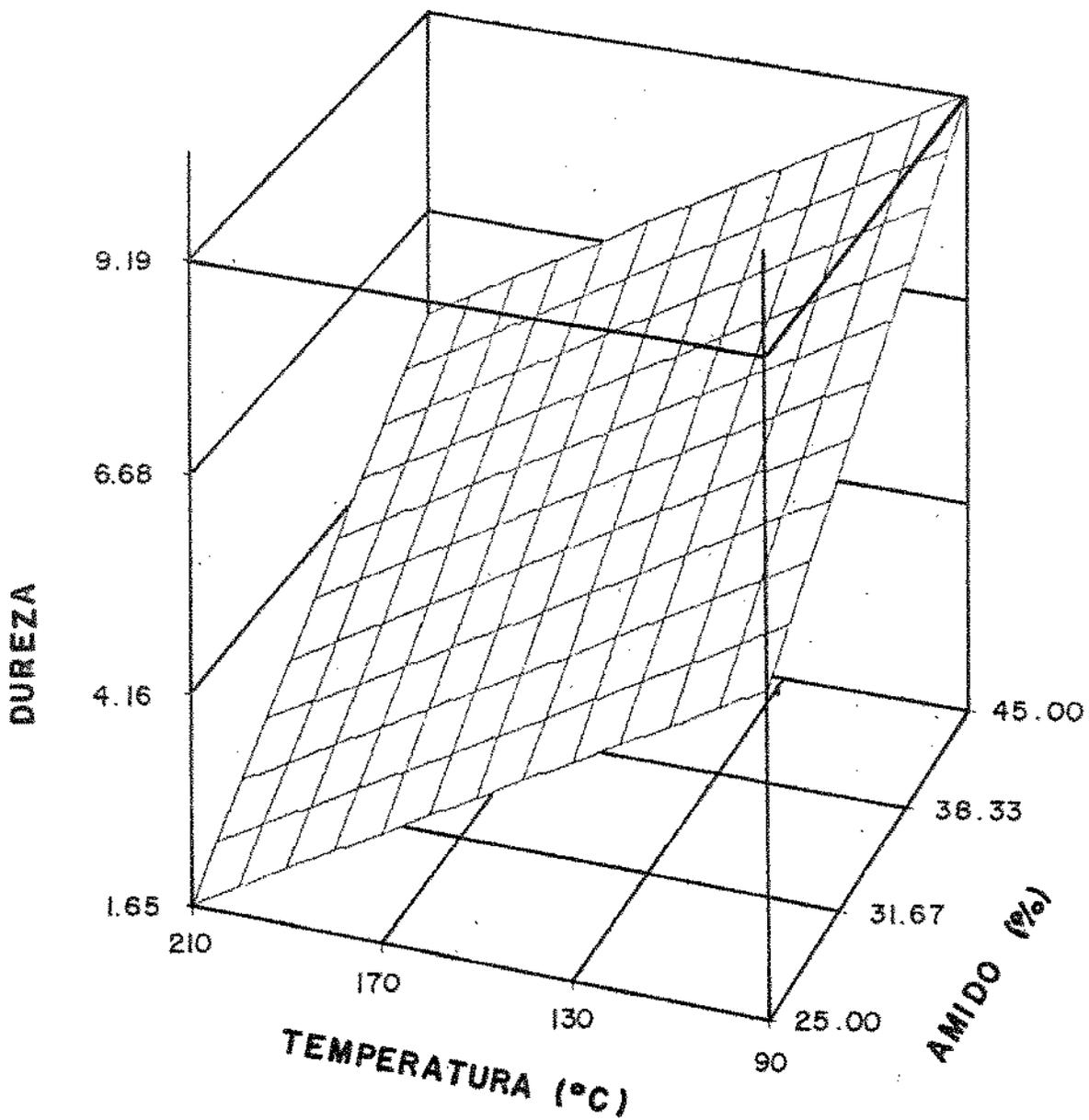


Figura 26: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%)

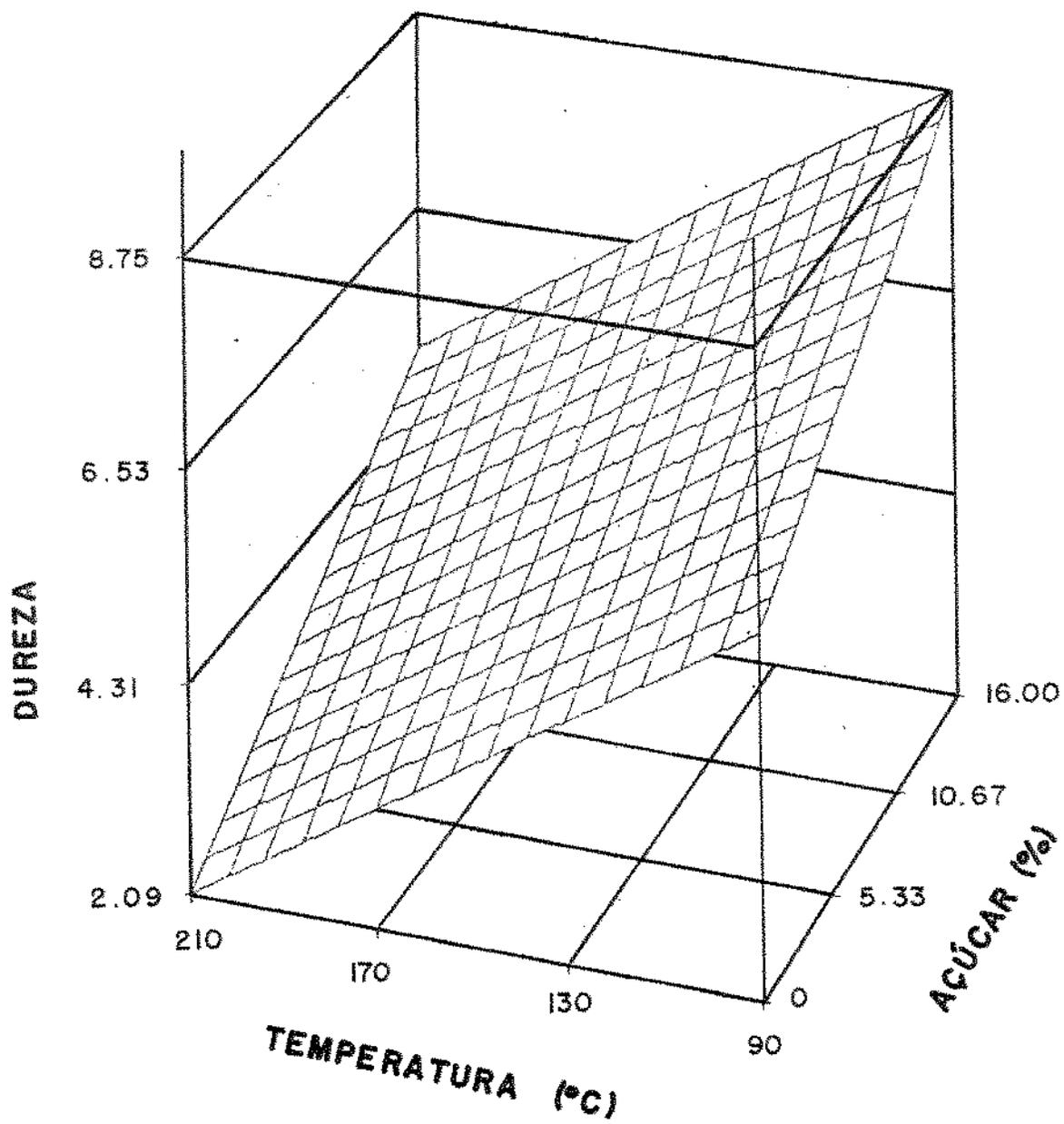


Figura 27: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, amido = 35%)

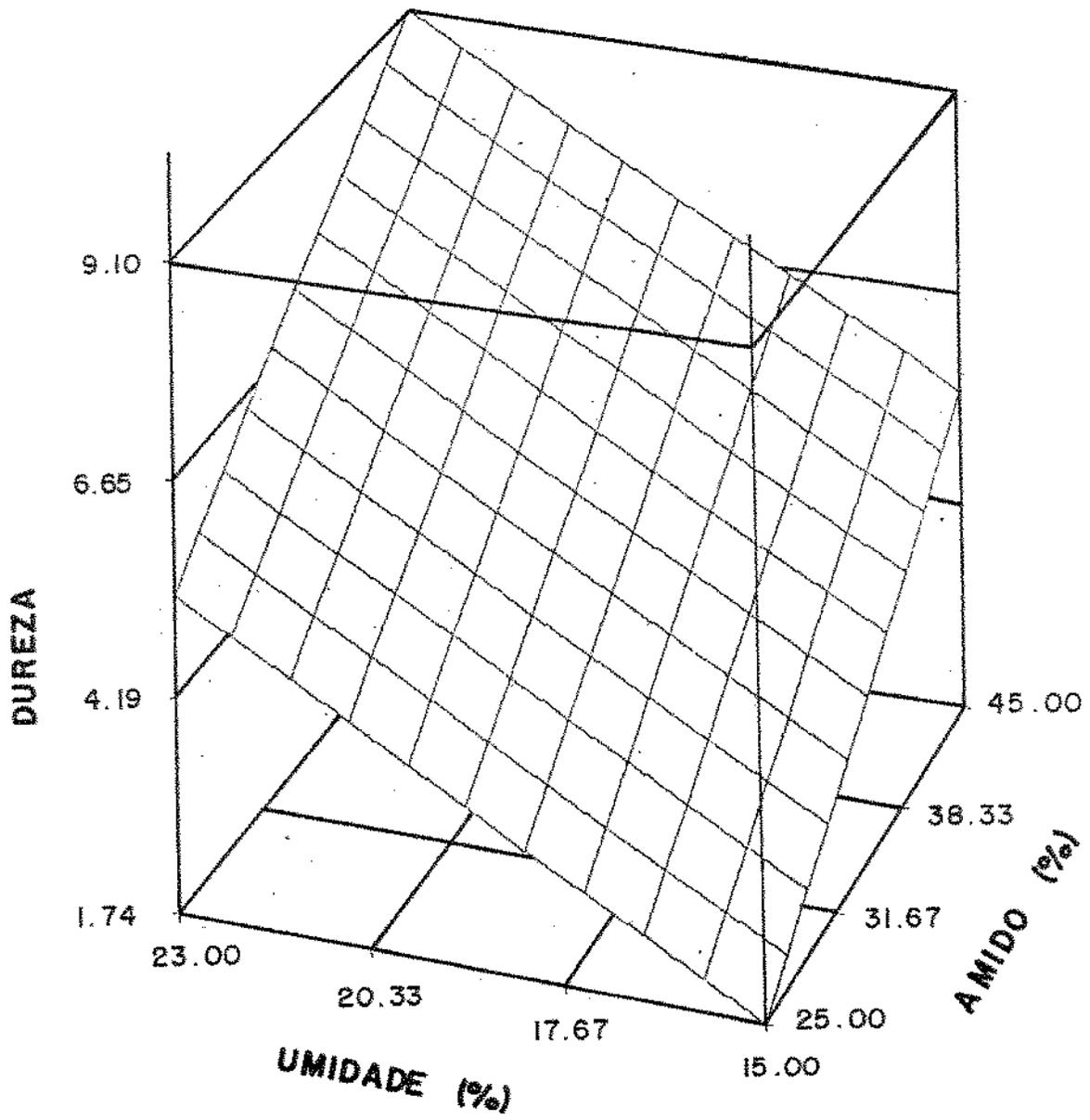


Figura 28: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, açúcar = 8%)

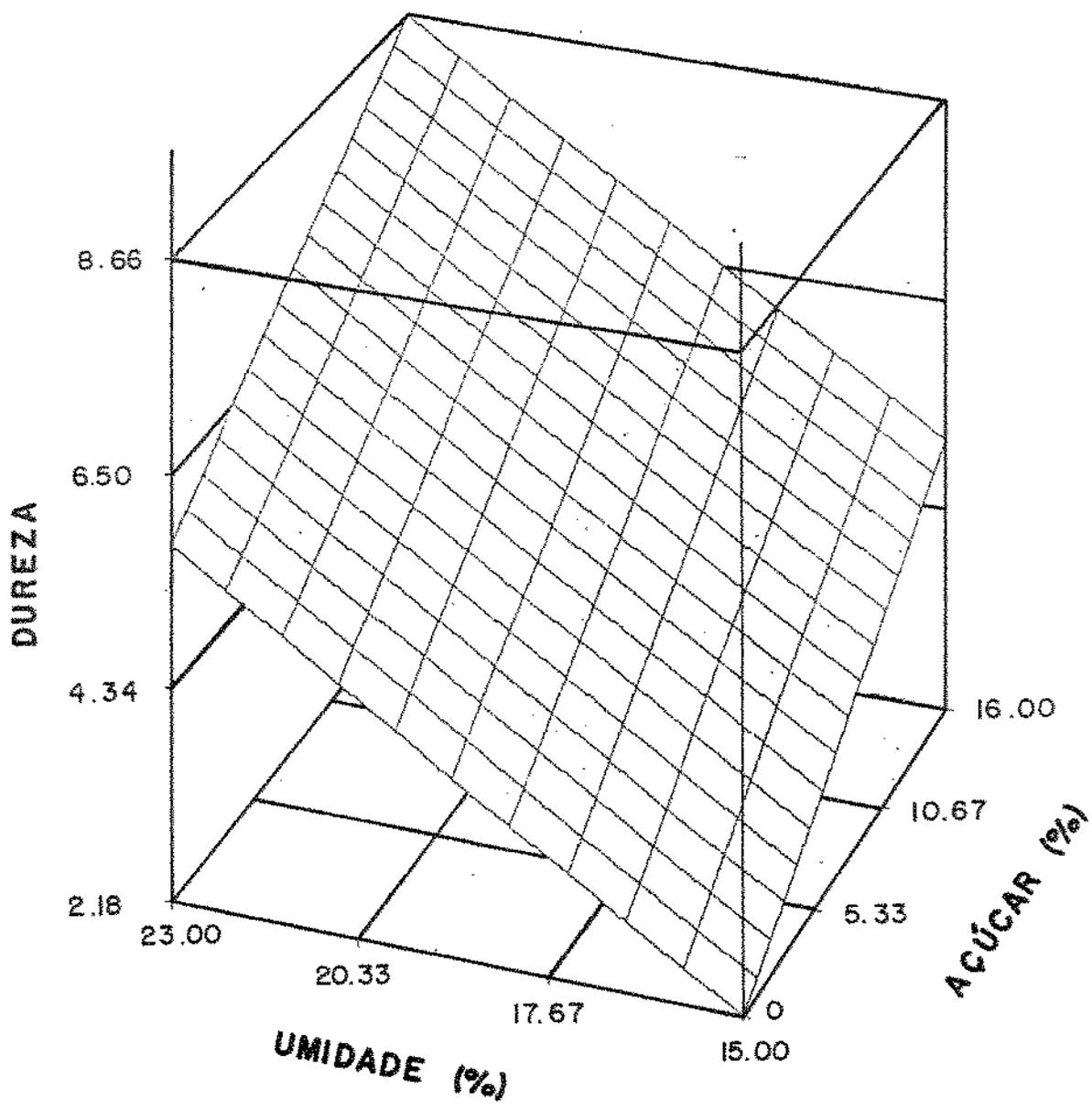


Figura 29: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar na dureza (kgf) de produtos extrusados de germe de trigo (temperatura = 150°C, amido = 35%)

6. Cor

A cor para os extrusados de germe de trigo foi medida através de tres componentes L, a, b, do sistema Hunter.

A figura 30 mostra a representação do sólido de cor L, a, b do sistema Hunter, onde os valores L (luminosidade) vão do zero (preto) até 100 (branco); +a (até 100) corresponde ao vermelho, -a (até -80) corresponde ao verde; +b (até +70) corresponde ao amarelo, e -b (até -100) ao azul. (FERREIRA, 1981).

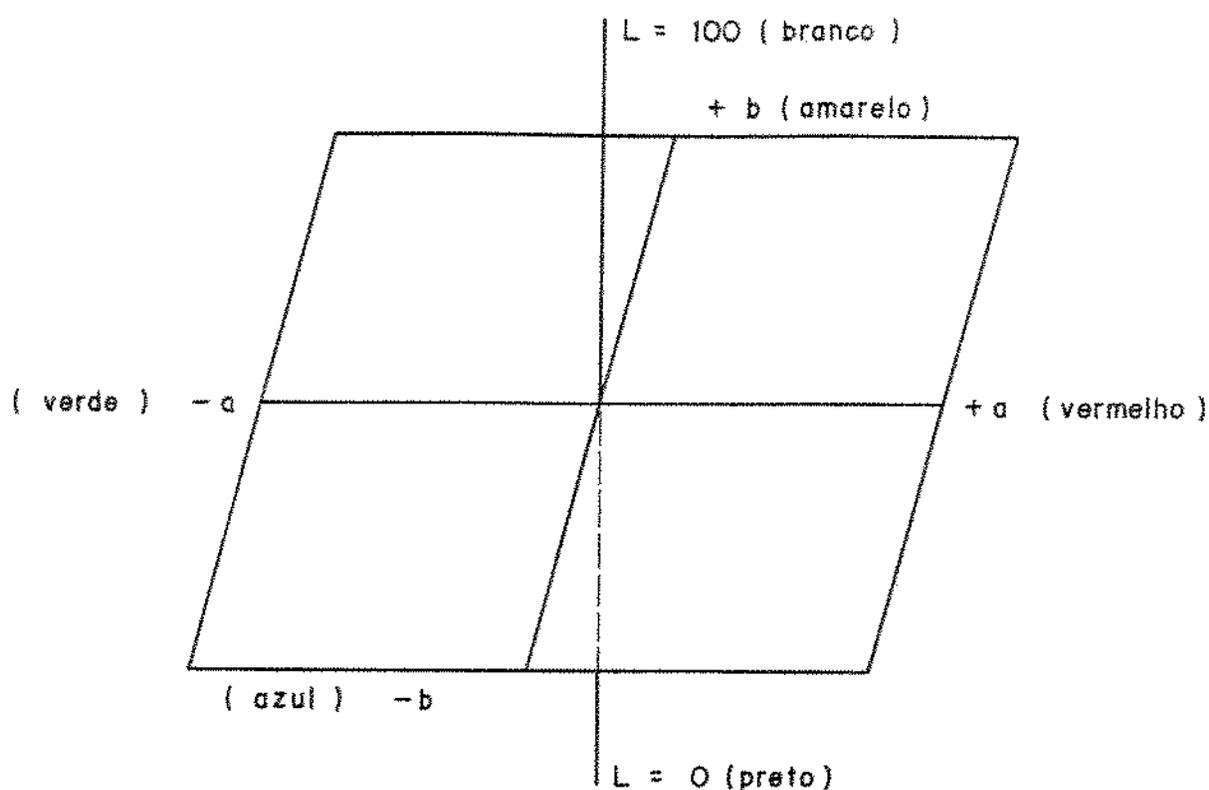


Figura 30. Sólido de cor L, a, b, do Sistema Hunter.

Os valores medidos dos componentes L, a, b para a cor dos produtos extrusados de germe de trigo estão apresentados na tabela 31.

Componente L (luminosidade)

O componente "L" de cor está relacionado à luminosidade. Os valores de luminosidade variam de 0 (preto) a 100 (branco). Pode-se dizer que maiores valores de luminosidade estão relacionados a amostras mais claras e vice-versa.

Tabela 31: Influências das variáveis da extrusão na cor dos produtos extrusados à base de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão				Componentes		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	L	a	b
01	17	120	30	4	51,17	3,07	13,08
02	21	120	30	4	49,67	3,31	13,02
03	17	180	30	4	47,90	3,84	14,83
04	21	180	30	4	42,62	5,73	14,95
05	17	120	40	4	54,84	2,77	13,86
06	21	120	40	4	51,79	3,66	14,16
07	17	180	40	4	48,30	4,94	16,31
08	21	180	40	4	45,22	4,78	15,84
09	17	120	30	12	52,04	3,10	12,75
10	21	120	30	12	51,15	3,42	13,92
11	17	180	30	12	47,56	4,47	15,79
12	21	180	30	12	45,29	5,03	15,22
13	17	120	40	12	56,95	2,65	13,33
14	21	120	40	12	53,82	2,99	13,30
15	17	180	40	12	49,43	4,28	16,19
16	21	180	40	12	48,42	3,95	15,94
17	15	150	35	8	53,03	2,81	15,13
18	23	150	35	8	46,16	3,60	14,48
19	19	90	35	8	52,47	3,59	14,21
20	19	210	35	8	46,02	4,78	13,84
21	19	150	25	8	44,07	4,10	14,74
22	19	150	45	8	50,65	3,38	15,31
23	19	150	35	0	47,41	3,98	15,05
24	19	150	35	16	50,80	3,94	15,65
25	19	150	35	8	44,22	3,79	14,15
26	19	150	35	8	47,86	3,84	13,66
27	19	150	35	8	46,81	3,79	13,73
28	19	150	35	8	48,03	3,42	14,60
29	19	150	35	8	47,90	3,85	15,31
30	19	150	35	8	46,34	4,40	15,18
31	19	150	35	8	47,95	3,83	14,97

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

X₃ = teor de amido na matéria-prima (%)

X₄ = teor de açúcar na matéria-prima (%)

Os valores de luminosidade encontrados para os extrusados de germe de trigo variaram de 44 a 57 (tabela 31).

Através de análise de variância encontrou-se um modelo de regressão para luminosidade em função das variáveis estudadas, cuja relação é representada pela seguinte equação.

$$y = 149,86 - 7,95U - 0,31T + 0,28M - 0,43C + \\ + 0,19U^2 + 7,5 \cdot 10^{-4}T^2 + 0,04C^2$$

(equação 6)

O modelo, conforme análise de regressão mostrada na tabela 32, foi significativo ao nível de $p = 0,0001$ e explica 88% das variações de luminosidade ($R^2 = 0,8842$), portanto pode ser considerado um modelo satisfatório.

Através da equação 6 foram geradas superfícies de respostas que ilustram o efeito das variáveis sobre "L".

a. Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima

Pela superfície de resposta da figura 31 pôde-se observar que luminosidade diminuiu com aumento de temperatura até aproximadamente 190°C , a seguir, "L" mostra uma leve tendência para aumentar.

Aumentos de umidade até 20% provocaram uma redução no valor de luminosidade. Em seguida luminosidade aumentou para umidade maior que 20%.

Assim, para o efeito combinado das duas variáveis encontrou-se uma região de menor luminosidade, ou seja, de produtos mais escuros, definida por temperatura entre $180-210^{\circ}\text{C}$ e umidade de 19 a 23%. Produtos mais claros ocorreram a baixas temperatura e umidade.

b. Efeito do teor de amido e teor de açúcar

A luminosidade aumentou linearmente com adição de amido. Portanto, quanto maior o teor de amido mais claros se tornaram os produtos extrusados. Isto pode ser verificado através da figura 32.

A adição de açúcar até 6% provocou um escurecimento nos produtos (menor L). Acima de 6%, luminosidade aumentou com o teor de açúcar.

Tabela 32: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para cor: componente L (luminosidade)

Média das respostas	48,91
Desvio padrão	1,30
Coefficiente de variação	2,65
R ²	0,8842

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	7	295,0469	42,1496	25,10	0,0001
Resíduo	23	38,6269	1,6794		
Total	30	333,6738			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	149,86	
U	-7,95	0,0021
T	-0,31	0,0009
M	0,28	0,0001
C	-0,43	0,0973
U ²	0,19	0,0044
T ²	$7,5 \cdot 10^{-4}$	0,0102
C ²	0,04	0,0142

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

M = teor de amido (%)

C = teor de açúcar (%)

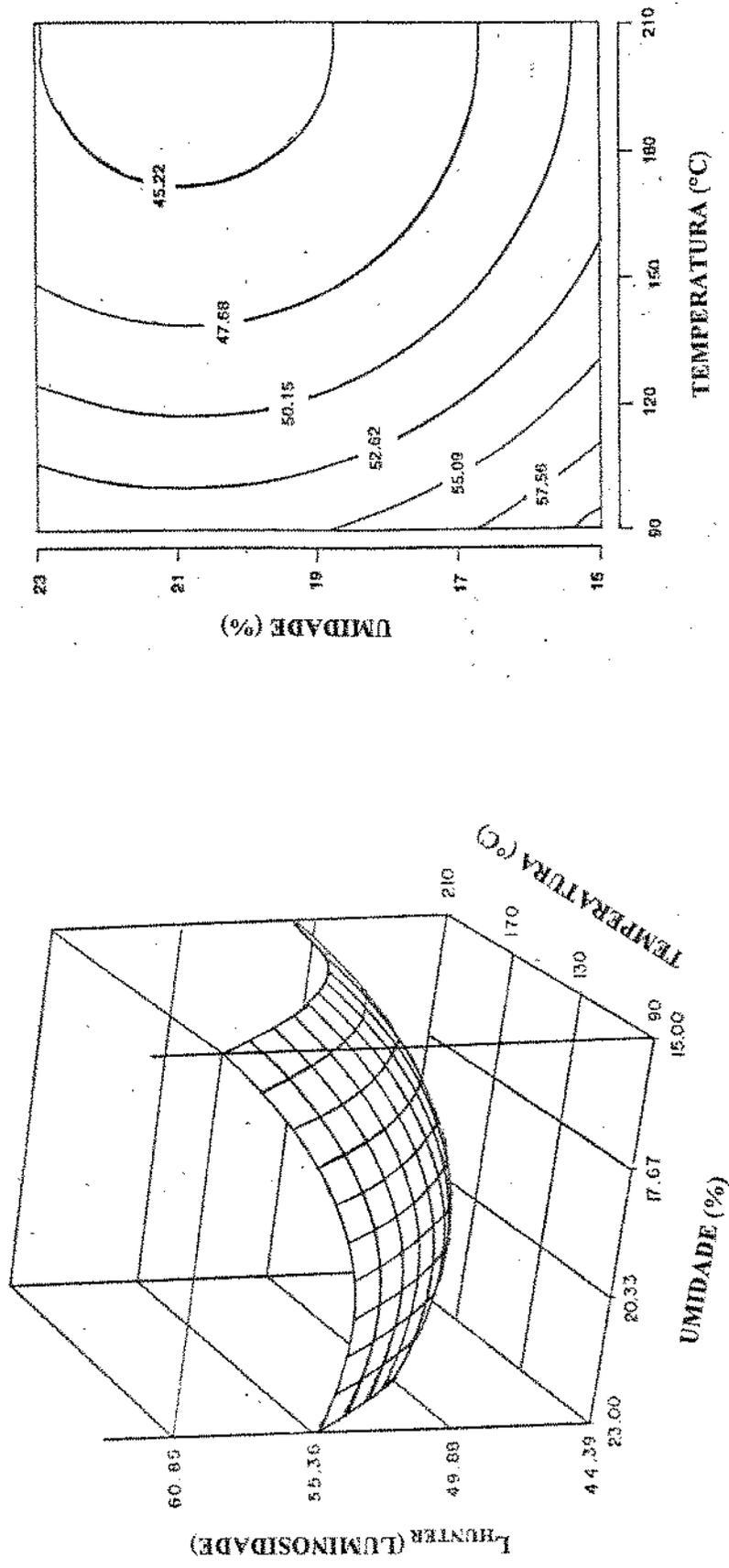


Figura 31: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no componente L_{hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, açúcar = 8%)

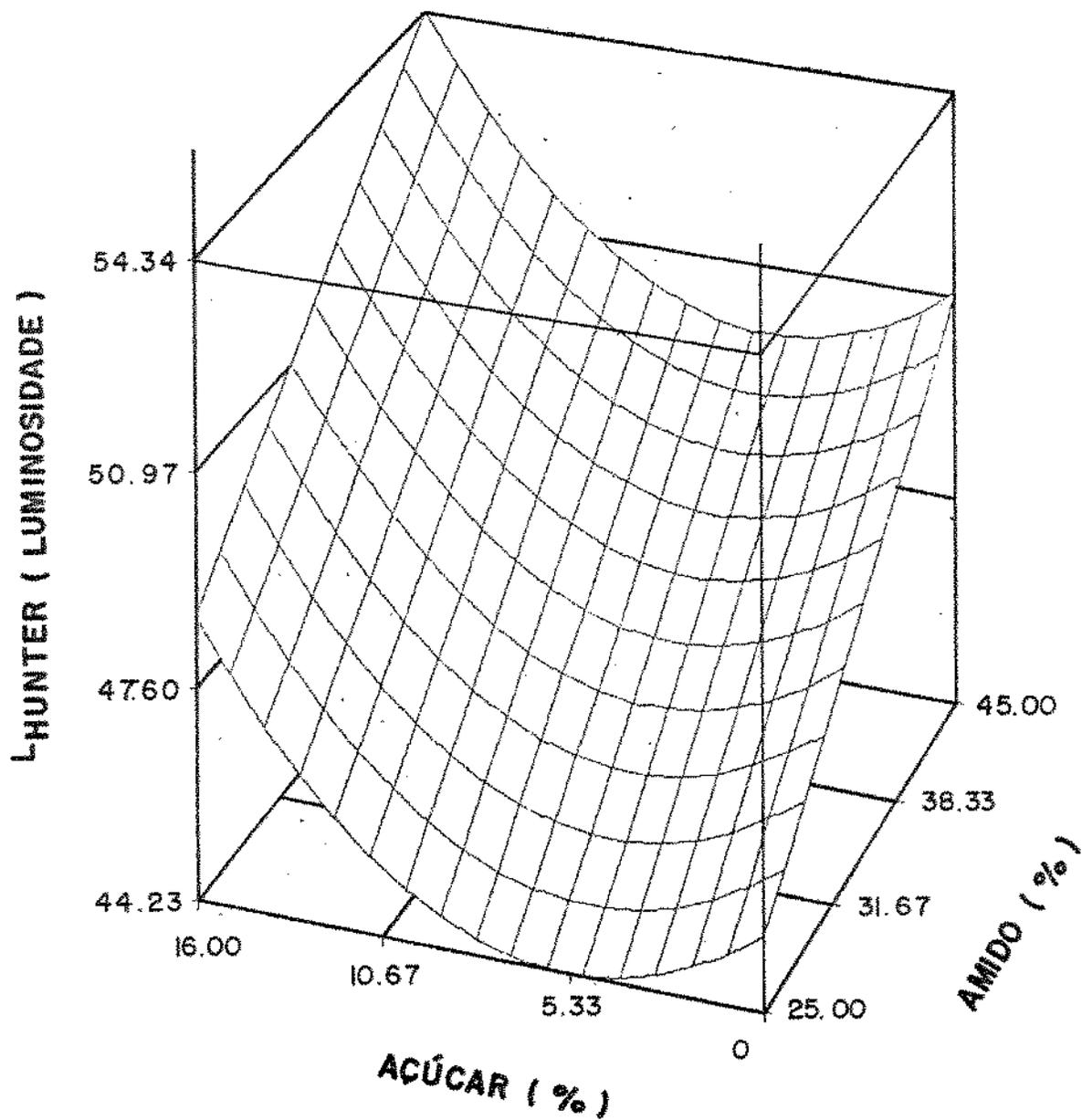


Figura 32: Efeito de teor de açúcar e teor de amido no componente L_{hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, temperatura = 150°C)

Produtos mais claros foram obtidos com alto teor de açúcar e amido e os mais escuros ocorreram para baixo teor de amido com um nível de açúcar ao redor de 6%

c. Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido

Pela figura 33 verificou-se que a luminosidade diminuiu com incrementos na temperatura.

O efeito do amido permaneceu o mesmo, isto é, para qualquer temperatura, um incremento no teor de amido aumentou a luminosidade.

Encontrou-se maiores valores de "L" (produtos mais claros) para baixa temperatura e alto teor de amido, e menores "L" para alta temperatura e baixo conteúdo de amido.

d. Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar

A figura 34 confirmou o efeito de temperatura sobre luminosidade que permaneceu o mesmo daqueles observados nos itens anteriores, isto é, aumentos de temperatura contribuíram para diminuir luminosidade.

Baixos teores de açúcar até 6% contribuíram para uma pequena redução de "L". Acima de 6% de açúcar incrementos no teor de açúcar aumentaram o valor de L, de forma mais pronunciada.

No efeito cruzado das duas variáveis apareceu uma região de menor valor de luminosidade (produtos mais escuros) para temperatura acima de 180°C e açúcar entre 3 e 9% e maior luminosidade (produtos mais claros) foi obtido para baixa temperatura e alto conteúdo de açúcar.

e. Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido

A figura 35 mostra que o efeito de teor de amido sobre luminosidade, para qualquer umidade, foi similar aos observados na sua interação com temperatura e açúcar, onde aumentos de amido aumentaram L.

Em relação à umidade, o comportamento de luminosidade foi semelhante ao observado anteriormente com a variação de temperatura.

Assim, obteve-se produtos mais escuros (menor L) para menor teor de amido e umidade ao redor de 21%.

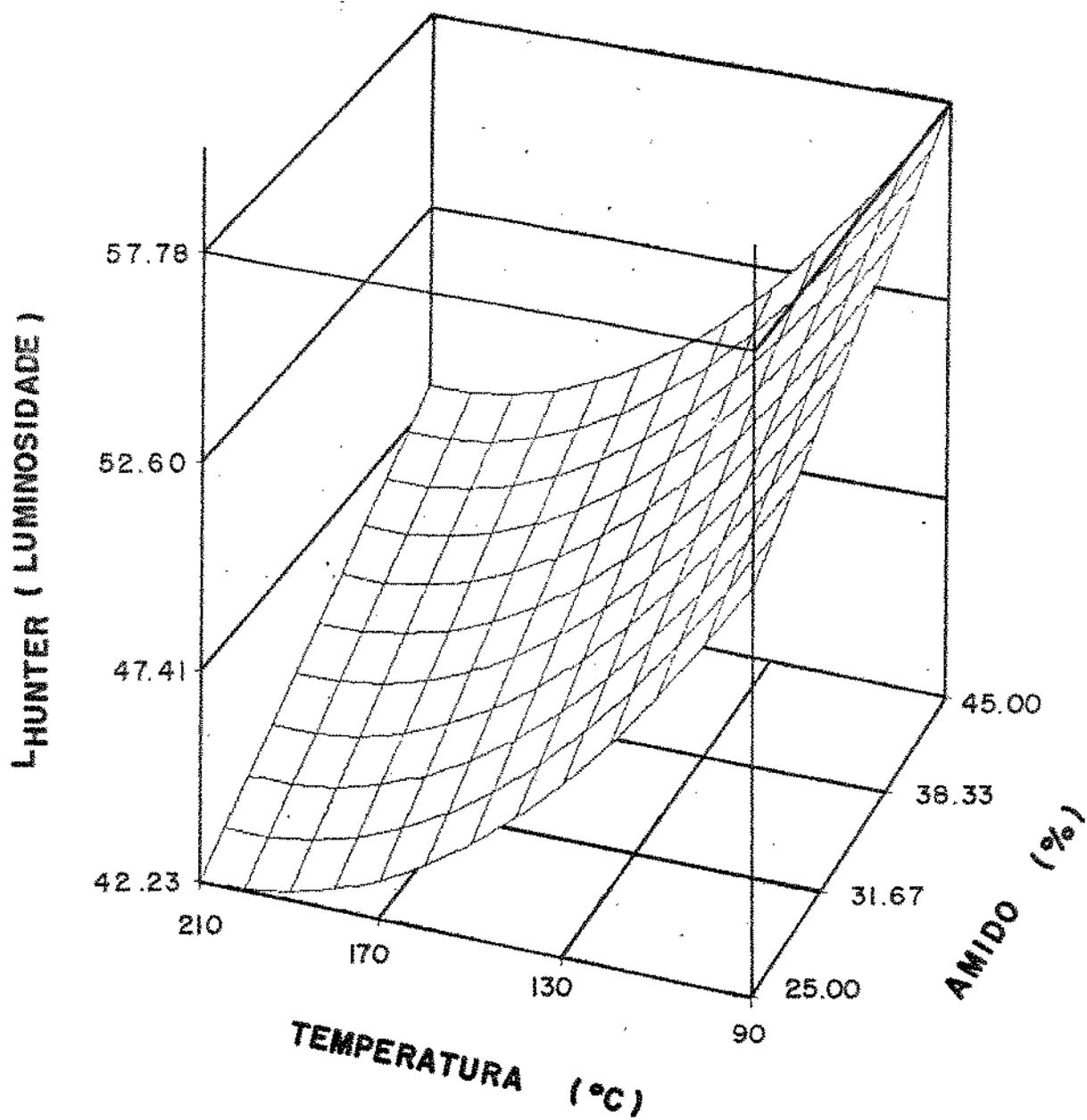


Figura 33: Efeito de temperatura de extrusão e teor de amido no componente L_{hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (umidade = 19%, açúcar = 8%)

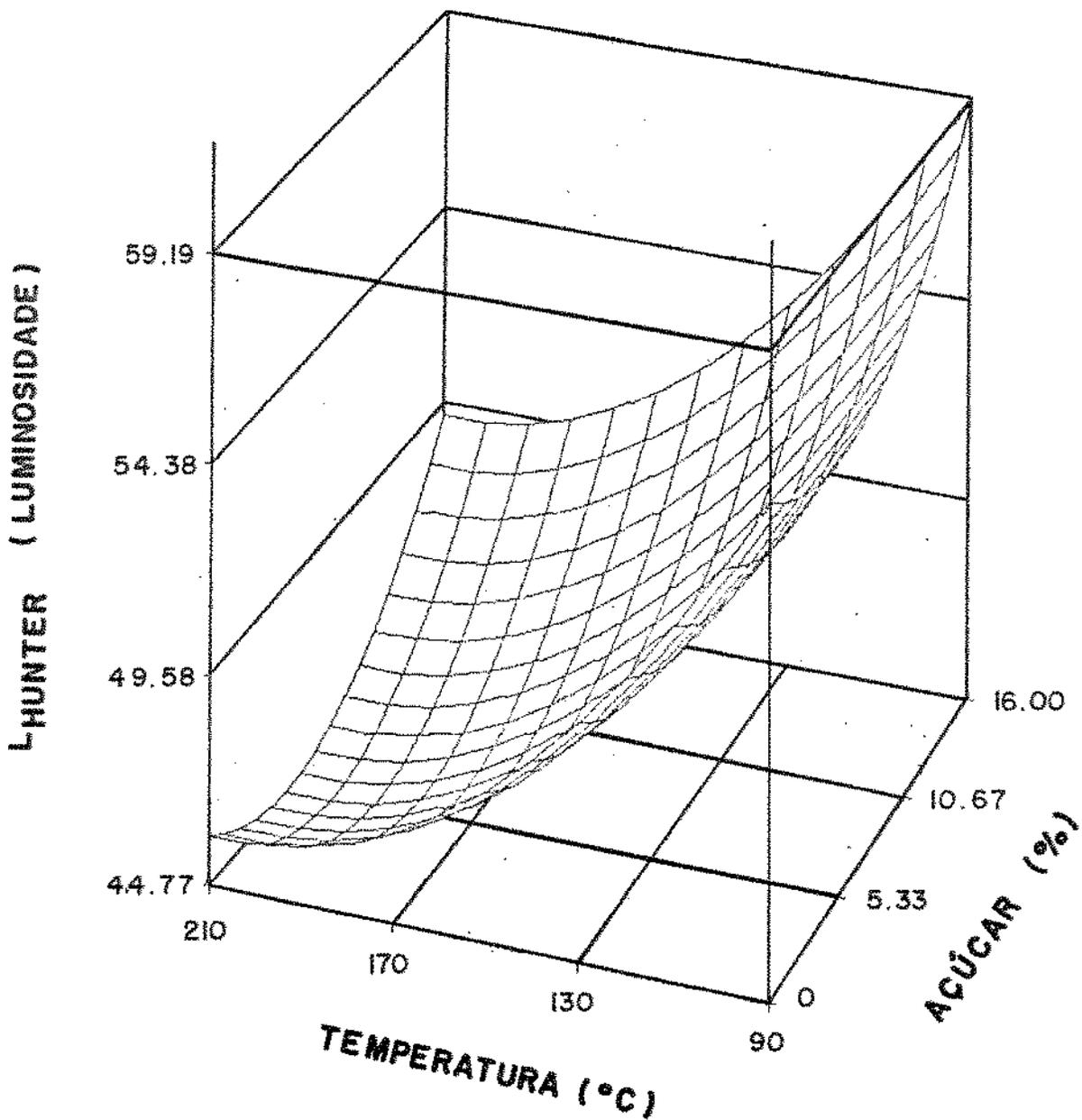


Figura 34: Efeito de temperatura de extrusão e teor de açúcar no componente L_{hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%, umidade = 19%)

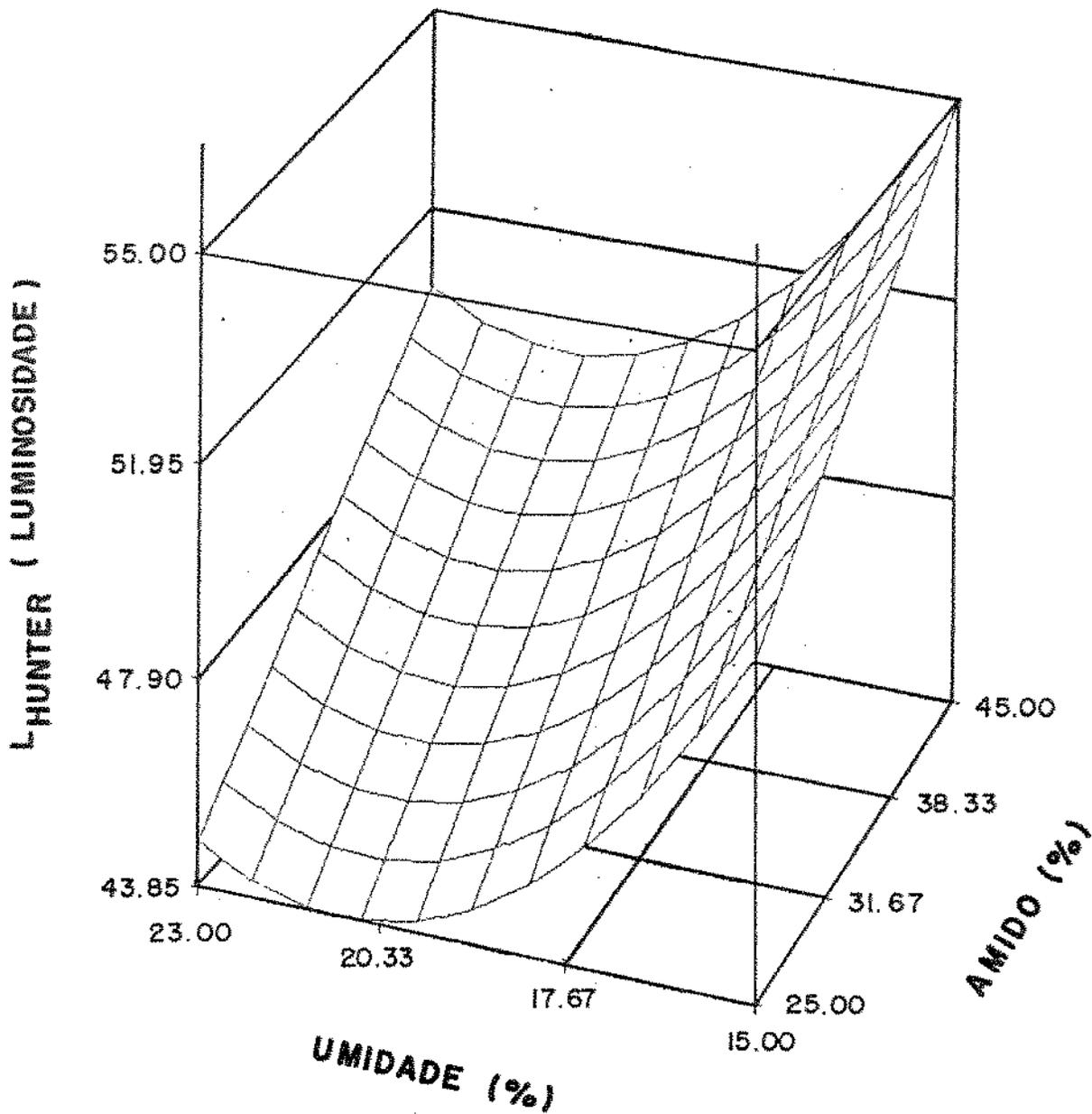


Figura 35: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de amido no componente L_{hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo (açúcar = 8%, temperatura = 150°C)

f. Efeito de umidade de matéria-prima e teor de açúcar

Na superfície de resposta elaborada para o efeito combinado entre umidade e açúcar (figura 36) ocorreu uma região estacionária de menor valor de L, limitada por valores de umidade entre 19 e 22% e teor de açúcar entre 3 e 8%. Um afastamento dessa região por variações de umidade ou açúcar provocaria um aumento de luminosidade sendo que maior variação de "L" foi observada para baixa umidade e alto teor de açúcar.

Combinando-se os efeitos das quatro variáveis estudadas obteve-se produtos mais escuros (menor valor de L) nas seguintes condições: temperaturas altas, umidade entre 19 e 22%, baixo conteúdo de amido e açúcar entre 3 e 8%. Maiores valores de L, ou seja, produtos mais claros ocorreram em condições de baixa temperatura, baixa umidade e altos teores de amido e açúcar.

Componente a_{Hunter}

Valores positivos para o componente a_{Hunter} (vermelho) foram encontrados para as amostras de germe de trigo extrusado.

Os valores de a_{Hunter} variaram de 2,65 a 5,73, conforme resultados apresentados na tabela 31.

A partir dos resultados de análise de variância completa, efetuada com os valores experimentais, verificou-se baixa significância do teor de açúcar, procedeu-se então a um reajuste do modelo de regressão em função de temperatura de extrusão, umidade da matéria-prima e teor de amido, o qual foi significativo ao nível de $p = 0,0001$ e coeficiente de determinação múltipla (R^2) igual a 0,6815 (tabela 33).

O modelo de regressão ajustado aos dados experimentais está representado pela equação 7 e pode ser utilizado para avaliar as tendências de a_{Hunter} (vermelho) conforme as condições de extrusão.

$$y = - 12,60 + 14,16 \cdot 10^{-1} U + 2 \cdot 10^{-2} T - 2,83 \cdot 10^{-2} M - \\ - 3,43 \cdot 10^{-2} U^2$$

(equação 7)

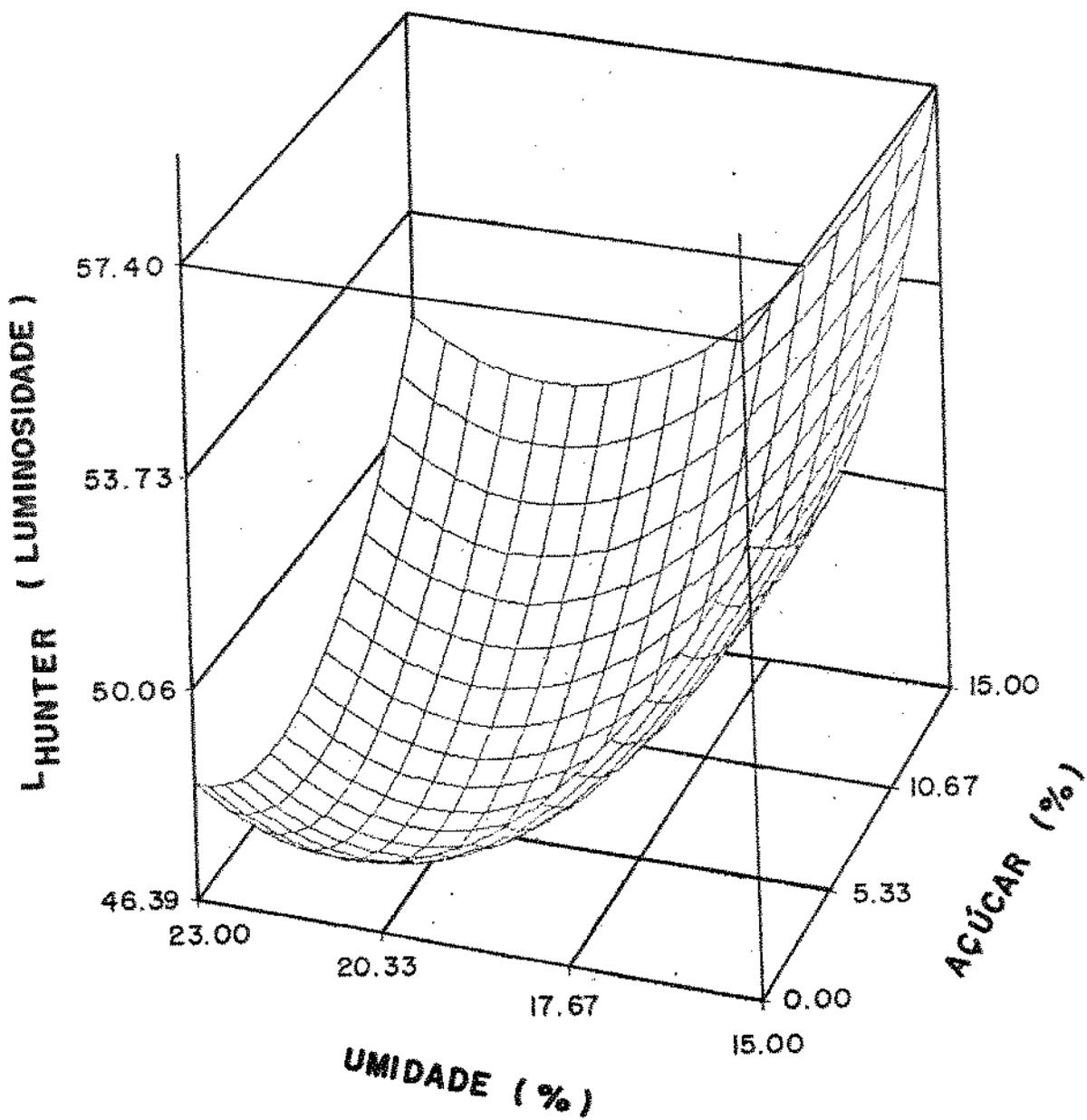


Figura 36: Efeito de umidade da matéria-prima e teor de açúcar no componente L_{hunter} (luminosidade) de produtos extrusados de germe de trigo. (amido = 35%, temperatura = 150°C)

Tabela 33: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para cor: componente a_{Hunter} (vermelho)

Média das respostas	3,82
Desvio padrão	0,44
Coefficiente de variação	11,59
R ²	0,6815

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	10,8938	2,7234	13,91	0,0001
Resíduo	26	5,0919	0,1958		
Total	30	15,9857			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	-12,60	
U	14,16 · 10 ⁻¹	0,0797
T	2,0 · 10 ⁻²	0,0001
M	-2,83 · 10 ⁻²	0,1300
U ²	-3,43 · 10 ⁻²	0,1042

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

M = teor de amido (%)

A ANOVA indicou alta significância da variável temperatura ($p = 0,0001$) enquanto que umidade e teor de amido foram menos significativos.

Para análise dos efeitos das variáveis foram considerados aqueles que apresentaram um nível de significância menor que 10%.

Assim, a influência de temperatura e umidade nos valores de a_{Hunter} (vermelho) pode ser visualizada através da superfície de resposta apresentada na figura 37.

Para qualquer umidade, aumentos de temperatura contribuíram para aumentar os valores do componente a_{Hunter} , de forma linear. Um incremento na umidade até 20% aumentou a_{Hunter} . Acima dessa umidade, pequena diminuição no valor de a_{Hunter} (vermelho) foi observada.

Assim, maiores valores de a_{Hunter} (vermelho), ou seja, amostras mais coloridas são obtidas em alta temperatura e umidade ao redor de 20%. Menores valores de a_{Hunter} (vermelho) são obtidos numa faixa de temperatura e umidade baixas.

Componente b_{Hunter}

Os valores experimentais obtidos para o componente b_{Hunter} (amarelo) se encontram na tabela 31.

Com base nos dados experimentais, foi elaborada uma análise de variância cujo resultado apresentado na tabela 34 mostrou baixa significância da regressão ($p = 0,1577$) bem como do efeitos individuais. Observa-se portanto, que as variáveis estudadas não tiveram influência significativa na cor amarela dos produtos extrusados dentro do intervalo estabelecido para estudo. Apesar da cor ter sido medida através de três componentes separadamente, a percepção final da cor, através de olho humano, representa o resultado conjunto desses três componentes.

Uma combinação de maior L (luminosidade) e menor a (vermelho) resulta em produtos mais claros e menos coloridos, que podem ser obtidos em baixas temperatura de extrusão e umidade da matériapríma, com altos teores de açúcar e amido. Já para produtos mais escuros e coloridos, as condições indicadas são: temperaturas altas, umidade da matéria-prima ao redor de 20% e baixo conteúdo de amido e açúcar.

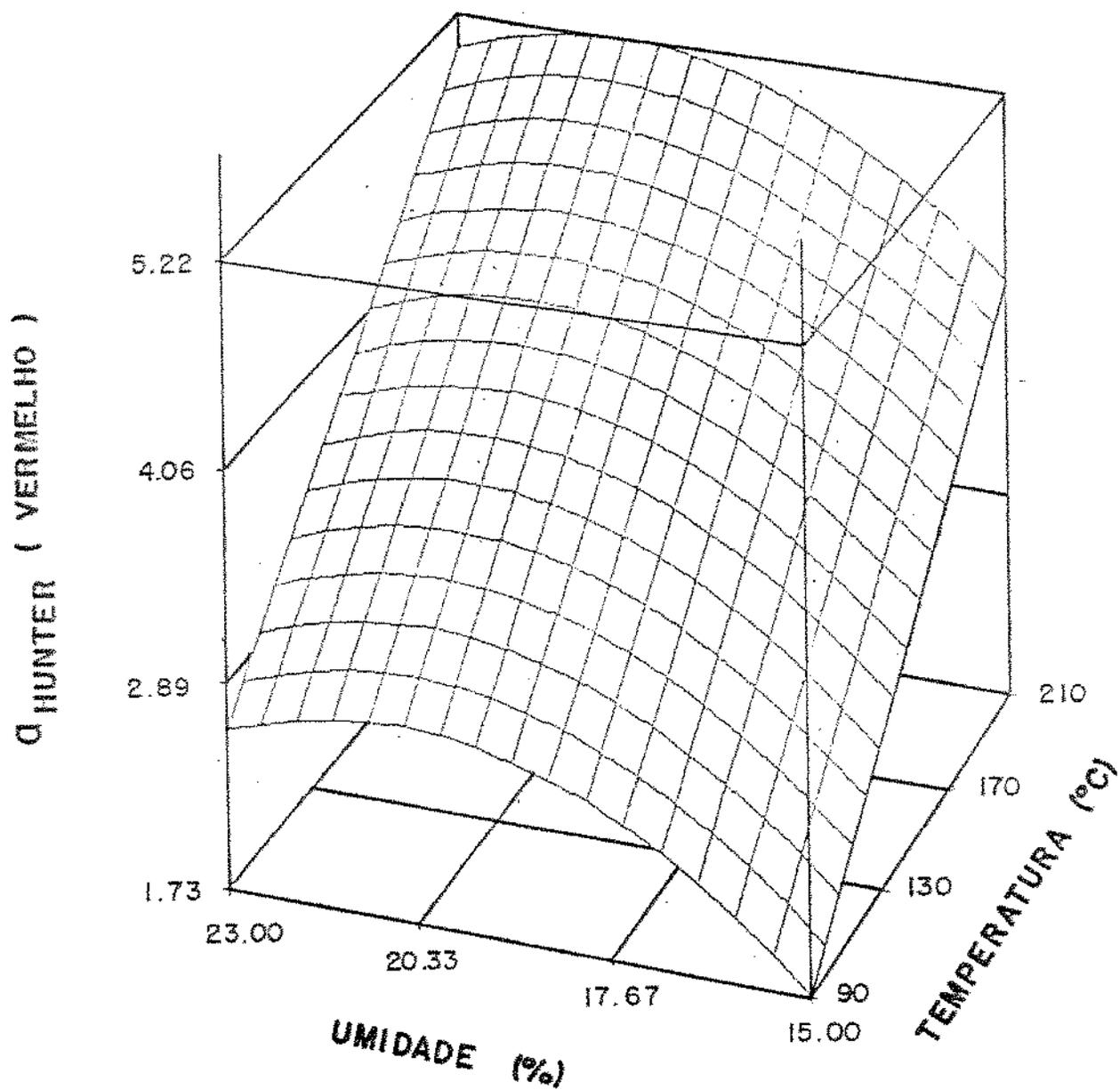


Figura 37: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no componente a_{hunter} (vermelho) de produtos extrusados de germe de trigo (amido = 35%)

Tabela 34: Análise de variância para cor: componente b_{Hunter}
(amarelo)

Média das respostas	14,60
Desvio padrão	0,86
Coeficiente de variação	5,88
R^2	0,5960

Causas de variação	G.L.	S.Q.	R^2	F	Prob > F
Linear	4	13,8679	0,4747	4,699	0,0106
Quadrático	4	1,9843	0,0679	0,672	0,6207
Interação	6	1,5585	0,0533	0,352	0,8983
Regressão	14	17,4107	0,5960	1,686	0,1577

Variáveis	Prob > t	Variáveis	Prob > t
U	0,8543	C^2	0,3243
T	0,3471	UT	0,4687
M	0,9111	UM	0,7508
C	0,9801	UC	0,9020
U^2	0,8689	TM	0,6457
T^2	0,3110	TC	0,5629
M^2	0,6010	MC	0,3640

U = umidade da matéria-prima (%)

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

M = Teor de amido (%)

C = teor de açúcar (%)

C. EFEITO DE TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA NA QUALIDADE NUTRICIONAL DOS PRODUTOS EXTRUSADOS DE GERME DE TRIGO

1. Digestibilidade Aparente (Da)

Na avaliação de Da, a caseína foi significativamente superior ao germe cru e produtos extrusados ao nível de 5%. Entre o germe de trigo cru e os extrusados não houve diferença significativa (Tabela 35).

O efeito das variáveis de extrusão sobre a Da foi verificado através de análise de variância. O modelo de regressão completo mostrou ser significativo ao nível de $p = 0,1188$, $R^2 = 0,7572$ e os efeitos quadráticos e cruzado mostraram baixa significância. Assim um novo modelo, incorporando ao resíduo os efeitos não significativos foi reajustado. A ANOVA do modelo reajustado se encontra na tabela 36, e neste caso o modelo de regressão foi significativo ao nível de $p = 0,0271$ e explica 71% da variação de Da ($R^2 = 0,7152$).

O modelo representado pela equação 9 pode ser usado para avaliar as tendências de Da em função de umidade e temperatura de extrusão

$$y = 72,98 - 2,96 \cdot 10^{-1}U + 2,65 \cdot 10^{-1}T - 1,0 \cdot 10^{-3}T^2$$

(equação 9)

Tabela 35: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na Digestibilidade aparente (Da) dos produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		Da (%)
	X ₁	X ₂	
01	17	120	85,50b
02	21	120	84,70b
03	17	180	83,14bc
04	21	180	83,45bc
05	16,2	150	85,83b
06	21,8	150	82,83bc
07	19	107,6	83,83bc
08	19	192,4	80,08c
09	19	150	85,02
10	19	150	83,15
11	19	150	84,01
Germe de trigo cru			82,55bc
Caseína			91,13a

Letras iguais não diferem estatisticamente a nível de 5% de significância

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 36: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Digestibilidade aparente (Da)

Média das respostas	83,78
Desvio padrão	1,02
Coefficiente de variação	1,22
R ²	0,71

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	17,81	5,94	5,69	0,0271
Resíduos	7	7,30	1,04		
Total	10	25,11			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	72,98	
U	$-2,96 \cdot 10^{-1}$	0,1453
T	$2,65 \cdot 10^{-1}$	0,0953
T ²	$-1,0 \cdot 10^{-3}$	0,0632

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

Pela superfície de resposta apresentado na figura 38 elaborada através do modelo reajustado, verificou-se que D_a aumentou com temperatura até 140°C aproximadamente. Temperaturas acima desse valor provocaram um decréscimo no valor de D_a .

Baixas umidades contribuíram para incrementar ligeiramente os valores de D_a , isto é, D_a aumentou com o decréscimo da umidade da matéria-prima numa relação linear.

De fato, o efeito de temperatura sobre a Digestibilidade é mais notório do que a umidade. Assim o produto obtido a temperatura de $192,4^{\circ}\text{C}$ e 19% de umidade, apresentou menor valor de D_a e foi diferente significativamente ao nível de 5% dos produtos extrusados a baixas e médias temperaturas (120°C a 17 e 21% de umidade e 150°C a 16,2% de umidade).

As condições de extrusão empregadas, que provocaram uma melhora de D_a (temperatura até 140°C) possivelmente estão causando certa inativação de fatores antinutricionais, enquanto que temperaturas mais elevadas já causam efeito detrimental nas proteínas.

Segundo HURREL, CARPENTER (1977), um aumento na severidade do tratamento térmico diminui a digestibilidade das proteínas, e uma melhora da digestibilidade de proteínas vegetais geralmente é verificada quando submetidas a um tratamento térmico brando. Nesse caso a melhora da digestibilidade é devido a inativação de inibidores de proteínas e outras substâncias antifisiológicas.

MUSTAKAS et al. (1970) extrusando farinha de soja integral conseguiu uma inativação de 89% do fator antitripsina sob condição de 153°C , 20% de umidade e 2 minutos de tempo de residência.

Durante extrusão com soja integral, HARPER et al. (1977) reportaram que a uma temperatura de extrusão de 138°C , foi atingida uma inativação de 55 a 70% do fator antitripsina.

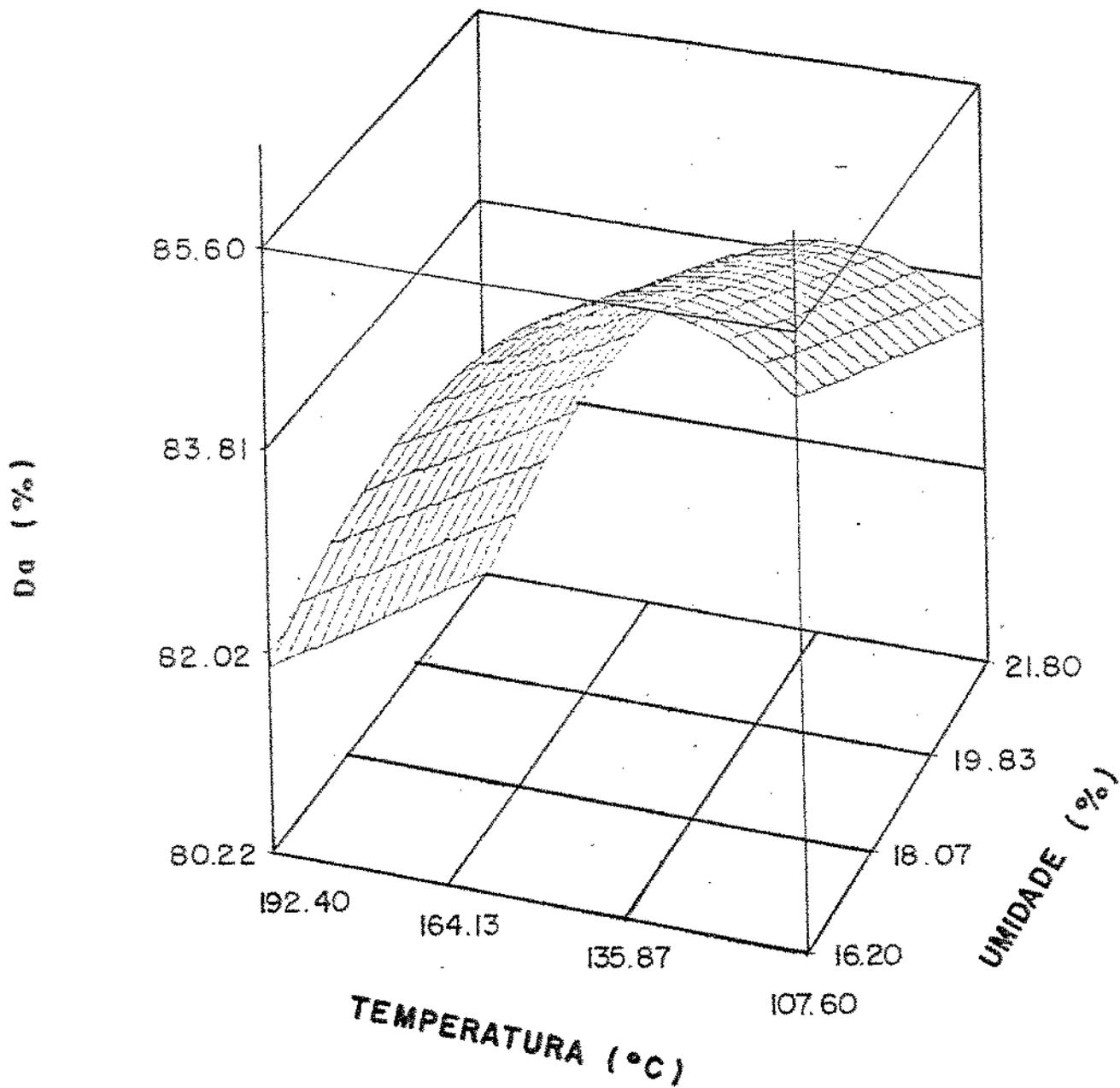


Figura 38: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na Digestibilidade aparente de produtos extrusados de germe de trigo

2. Valor Biológico aparente (VBa)

Os resultados de VBa, obtidos experimentalmente, para os extrusados de germe de trigo, caseína e germe de trigo cru não apresentaram diferença estatisticamente significativa a nível de 5% de acordo com teste Tukey aplicado após análise de variância. A tabela 37 mostra os valores experimentais e a conclusão do teste de Tukey para VBa.

Esse resultado indicou que as proteínas do germe são equivalentes à da caseína em termos de VBa.

Os produtos extrusados, apresentaram, em média 88,31% de aproveitamento do nitrogênio absorvido indicando um bom balanço de aminoácidos.

Através de análise de variância foi possível elaborar um modelo de regressão para VBa em função das variáveis de extrusão. Conforme ANOVA apresentada na tabela 38, o modelo foi significativo ao nível de $p = 0,0520$ e explica 65% das variações de VBa ($R^2 = 0,6465$). Devido a complexidade e variabilidade que envolve os testes biológicos o modelo foi considerado aceitável e pode ser utilizado para um estudo da tendência de VBa em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima.

O polinômio representativo do modelo está descrito pela equação 10.

$$y = 219,51 - 12,88U - 4,52 \cdot 10^{-2}T + 3,31 \cdot 10^{-1}U^2$$

(equação 10)

O efeito das condições de extrusão sobre VBa pode ser visualizado através da superfície de resposta gerada pela equação 10 e apresentada na figura 39.

Verificou-se que para qualquer umidade, aumentos de temperatura diminuíram o VBa.

Incrementos de umidade até 19%, aproximadamente, diminuíram VBa, com contínuos aumentos de umidade, VBa aumentou.

Dessa forma menor VBa ocorreu para alta temperatura e umidade em torno de 19%, enquanto maiores valores de Vba foram alcançados em baixa temperatura e umidade nos seus extremos.

Uma vez que VBa representa uma medida da retenção ou aproveitamento dos aminoácidos absorvidos, uma alteração no balanço de aminoácidos, devido a perdas por processamento pode alterar o valor biológico das proteínas.

Tabela 37: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Valor Biológico aparente (VBa) de produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		VBa (%)
	X_1	X_2	
01	17	120	88,60a
02	21	120	88,38a
03	17	180	87,88a
04	21	180	86,84a
05	16,2	150	92,10a
06	21,8	150	89,39a
07	19	107,6	90,06a
08	19	192,4	83,99a
09	19	150	87,63
10	19	150	86,81
11	19	150	89,76
Germe de trigo cru			88,04a
Caseína			87,19a

Letras iguais não diferem estatisticamente a nível de 5% de significância

X_1 = umidade da matéria-prima (%)

X_2 = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 38: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Valor Biológico aparente (VBa)

Média das respostas	88,31
Desvio padrão	1,50
Coeficiente de variação	1,70
R ²	0,6465

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	28,7712	9,5904	4,27	0,0520
Resíduo	7	15,7538	2,2477		
Total	10	44,5050			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	219,51	
U	-12,88	0,0594
T	$-4,52 \cdot 10^{-2}$	0,0377
U ²	$3,31 \cdot 10^{-1}$	0,0642

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

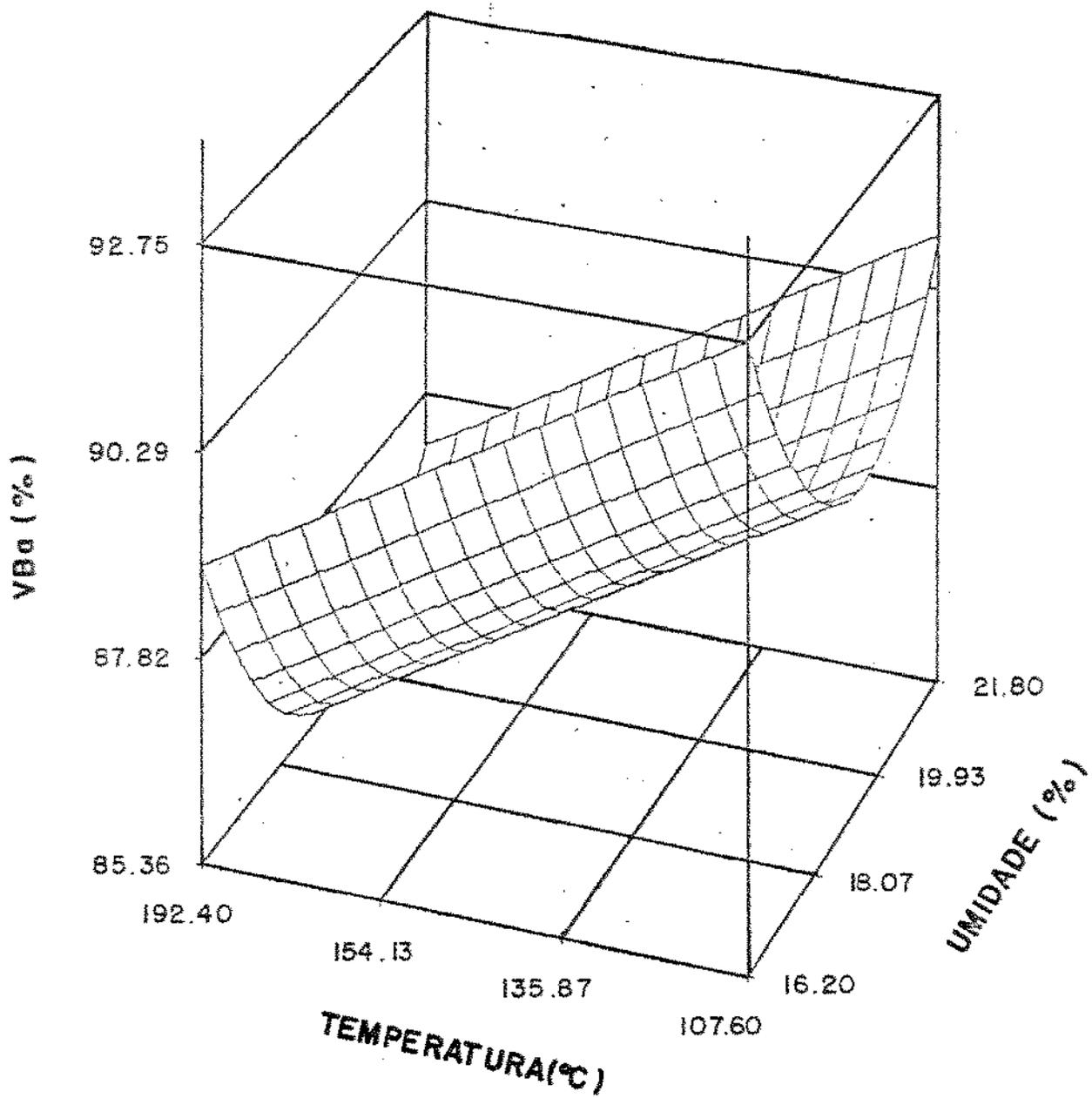


Figura 39: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria prima no Valor Biológico aparente de produtos extrusados de germe de trigo

A perda de aminoácidos durante extrusão tem sido reportada na literatura (BJÖRCK, ASP, 1983).

NOGUSHI et al. (1982) estudou a retenção de lisina disponível durante extrusão de misturas de cereal com soja contendo 20% de sacarose. As condições de extrusão variaram de 170 a 210°C, 13 a 18% de umidade, 40 a 80 rpm e tempo de retenção de 60 a 71 segundos. As perdas de lisina variaram de 0 a 40%, sendo que a perda aumentou com aumento de temperatura e decresceu com aumento de umidade. Nenhum efeito da velocidade da rosca na lisina foi verificado.

Dessa forma, é possível que as variações encontradas para VBa durante a extrusão, estejam relacionadas com a perda de aminoácidos.

3. Utilização Líquida de Proteína (NPUa)

Os valores experimentais encontrados para NPUa descritos na tabela 39, variaram de 67 a 79%, o que caracteriza a proteína do germe de trigo como sendo de boa qualidade. Segundo a PAG "PROTEIN ADVISORY GROUP GUIDELINES" (1971) a qualidade proteica em termos de NPUa deve ser superior a 60 para alimentos suplementares.

A partir desses resultados foi elaborada análise de variância, seguida de teste de Tukey. Por esse teste verificou-se que os extrusados, bem como o germe de trigo cru alcançaram valores próximos ao da caseína, não apresentando diferença significativa ao nível de 5% , com exceção do extrusado à temperatura de 192,4°C e umidade de 19%. Este apresentou valor significativamente inferior ao da caseína e do extrusado à temperatura de 150°C e umidade de 16,2%, porém, não foi significativamente diferente dos outros extrusados bem como do germe de trigo cru.

Para avaliar as tendências de NPUa em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima foi elaborada uma análise de regressão a partir dos dados experimentais.

O modelo de regressão completa se mostrou significativo ao nível de $p=0,0566$ e $R^2 = 0,8255$. No entanto, o efeito cruzado apresentou baixa significância ($p = 0,9515$).

Incorporando o efeito cruzado ao resíduo obteve-se um modelo de regressão reajustado significativo ao nível de $p = 0,0185$ que explicou 82% das variações de NPUa. A ANOVA do modelo pode ser vista na tabela 40.

Tabela 39: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima na Utilização Líquida de Proteína (NPUa) dos produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		NPUa (%)
	X ₁	X ₂	
01	17	120	75,71ab
02	21	120	74,85ab
03	17	180	73,10ab
04	21	180	72,46ab
05	16,2	150	79,02a
06	21,8	150	73,99ab
07	19	107,6	75,49ab
08	19	192,4	67,27b
09	19	150	74,51ab
10	19	150	72,22ab
11	19	150	75,40ab
Germe de trigo cru			72,78ab
Caseína			79,26a

Letras iguais não diferem estatisticamente a nível de 5% de significância

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 40: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Utilização Líquida de Proteína (NPUa)

Média das respostas	74,00
Desvio padrão	1,57
Coefficiente de variação	2,12
R ²	0,8254

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	70,0990	17,5248	7,09	0,0185
Resíduo	6	14,8311	2,4719		
Total	10	84,9302			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	174,88	
U	-12,43	0,0954
T	$3,67 \cdot 10^{-1}$	0,1482
T ²	$-1,45 \cdot 10^{-3}$	0,0951
U ²	$3,13 \cdot 10^{-1}$	0,1072

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

O polinômio descrito na equação 11 descreve o comportamento de NPUa em função da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão.

$$y = 174,88 - 12,43U + 3,67 \cdot 10^{-1}T - \\ - 1,45 \cdot 10^{-3}T^2 + 3,13 \cdot 10^{-1} U^2$$

(equação 11)

Através da equação 11 foi gerada uma superfície de resposta (figura 40) onde pode ser analisado o efeito das condições de extrusão sobre NPUa.

Observou-se que um aumento da temperatura de extrusão até cerca de 140°C aumentou levemente o NPU, em seguida NPUa decresceu com contínuos aumentos da temperatura.

Incrementos no teor de umidade até 19% aproximadamente, diminuíram NPUa, que passou a aumentar com contínuos incrementos na umidade.

Portanto, maiores NPUa são encontrados à uma temperatura ao redor de 140°C e baixa umidade, enquanto que menores NPUa ocorrem à temperatura alta e umidade ao redor de 19%.

O NPUa mantém a seguinte relação com Da e VBa:

$NPUa = DA \times VBa$, portanto os mesmos comentários feitos anteriormente no estudo de Da e VBa são válidos para NPUa.

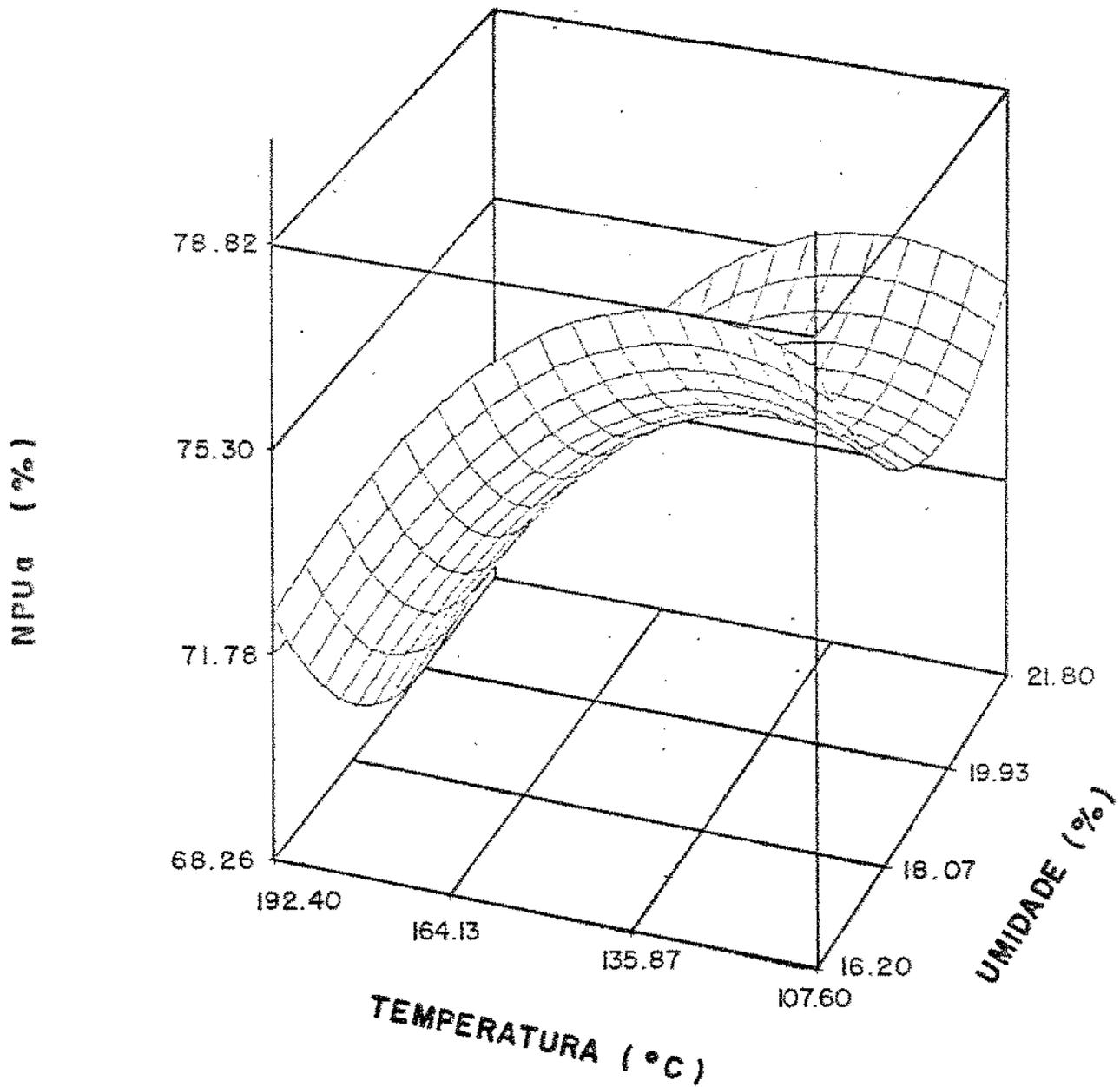


Figura 40: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria prima na Utilização Líquida de Proteína de produtos extrusados de germe de trigo

Figura 40: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria prima na Utilização Líquida de Proteína de produtos extrusados de germe de trigo

4. Quociente protéico líquido (NPR)

Entre o germe de trigo cru, caseína e os extrusados de germe de trigo não foi encontrada diferença significativa ao nível de $p = 0,05$ para NPR. Os valores de NPR, encontrados experimentalmente, podem ser vistos na tabela 41.

Em termos de NPR, a proteína do germe de trigo foi considerada de boa qualidade e equivalente à caseína. O valor do NPR encontrado para o germe cru (3,34), está próximo da taxa de eficiência protéica para germe de trigo cru (3,50) encontrado por OLSEN (1967) em experimentos com ratos durante 7 dias.

Uma análise de variância para verificar a influência das condições de extrusão sobre NPR, demonstrou que as variações observadas no NPR não são dependentes da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão, isto é, dentro do intervalo estudado, não tiveram efeito significativo sobre o NPR.

A ANOVA para NPR, em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, pode ser vista na tabela 42 onde, praticamente, nenhuma significância foi apresentada pelo modelo ($p = 0,9961$) e a explicação das variações da resposta NPR foi muito baixa ($R^2 = 0,0569$).

Tabela 41: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Quociente Protéico Líquido (NPR) de produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		NPR
	X ₁	X ₂	
01	17	120	3,41a
02	21	120	3,54a
03	17	180	3,69a
04	21	180	3,64a
05	16,2	150	3,25a
06	21,8	150	3,32a
07	19	107,6	3,35a
08	19	192,4	3,08a
09	19	150	3,52a
10	19	150	3,34a
11	19	150	3,29a
germe de trigo cru			3,34a
caseína			3,16a

Letras iguais não diferem estatisticamente a nível de 5% de significância

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 42: Análise de variância para Quociente Protéico Líquido
(NPR)

Média das respostas	3,40
Desvio padrão	0,25
Coefficiente de variação	7,28
R ²	0,0569

Causas de variação	G.L.	S.Q.	R ²	F	Prob > F
Linear	2	0,0040	0,0123	43,72	0,9681
Quadrático	2	0,0064	0,0197	12,81	0,9496
Interação	1	0,0081	0,0249	2,46	0,7312
Regressão	5	0,0185	0,0569	17,20	0,9961

5. Niacina

O conteúdo de niacina encontrado no germe de trigo cru bem como nos produtos extrusados de germe de trigo se encontram na tabela 43. De acordo com os resultados, perdas de niacina ocorreram sob todas as condições de extrusão, sendo que a retenção da vitamina variou de 46,2 a 86,4% conforme temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima.

Nesse sentido foi elaborada uma análise de variância para estudo do efeito das variáveis do processo de extrusão sobre a niacina.

Foi encontrado um polinômio, descrito na equação 12, que representa o modelo de regressão ajustado aos dados experimentais,

$$y = - 38,53 + 3,05 U + 0,20T - 4,31 \cdot 10^{-2} U^2 - 1,07 \cdot 10^{-2} UT$$

(equação 12)

A adequabilidade do modelo pode ser verificado pelo nível de significância $p = 0,0011$ e pelo coeficiente de determinação múltipla $R^2 = 0,9331$, que explica 93% das variações de niacina. (Tabela 44). O modelo está bem ajustado aos dados experimentais e pode ser usado para fins preditivos.

A superfície de resposta da figura 41 gerada pelo polinômio preditivo ilustra o efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima sobre o conteúdo de Niacina nos extrusados de germe de trigo.

Neste caso, ocorreu um ponto de sela, segmentando a região estudada, provocando influências distintas sobre a niacina.

Assim, para uma faixa de baixa umidade, a retenção de niacina aumentou com aumento de temperatura e para alta umidade a retenção diminuiu com aumento de temperatura.

Para uma região de alta temperatura, um aumento no teor de umidade diminuiu drasticamente a retenção de niacina, já para uma faixa de baixa temperatura, o efeito da umidade foi inverso e menos pronunciado.

Portanto, maior retenção de Niacina ocorreu para alta temperatura e baixa umidade, seguida pela condição de baixa temperatura e alta umidade, e menor retenção, ou maiores perdas foram verificadas numa combinação de altas temperatura e umidade.

Tabela 43: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de niacina (PP) de produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		Niacina (mg/100 g)	Retenção (%)
	X_1	X_2		
01	17	120	3,00	60,7
02	21	120	3,59	72,7
03	17	180	4,27	86,4
04	21	180	2,28	46,2
05	16,2	150	3,49	70,6
06	21,8	150	2,28	46,2
07	19	107,6	3,56	72,1
08	19	192,4	2,89	58,5
09	19	150	3,28	66,4
10	19	150	3,36	68,0
11	19	150	3,40	68,8
germe de trigo cru			4,94	100,0

X_1 = umidade da matéria-prima (%)

X_2 = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 44: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Niacina

Média das respostas	3,22
Desvio padrão	0,19
Coefficiente de variação	6,06
R ²	0,9331

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	3,1798	0,7950	20,91	0,0011
Resíduo	6	0,2281	0,0380		
Total	10	3,4080			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	-38,53	
U	3,05	0,0080
T	0,20	0,0006
T ²	-4,31·10 ⁻²	0,0702
TU	-1,07·10 ⁻²	0,0006

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

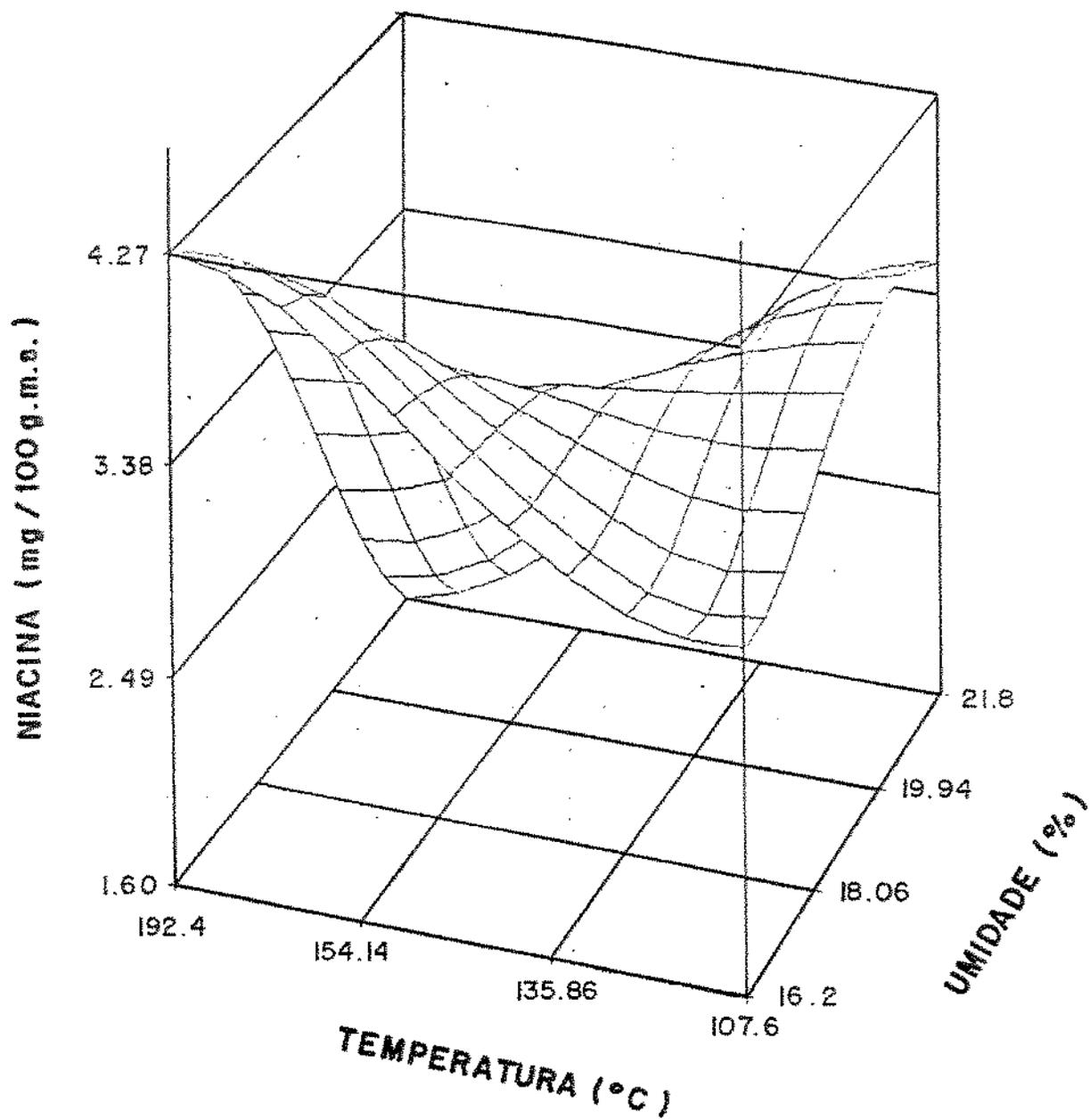


Figura 41: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria prima no conteúdo de Niacina de produtos extrusados de germe de trigo

Possivelmente, dois fatores estejam contribuindo para a perda de niacina durante o processo de extrusão, ou seja: o atrito mecânico e o calor. Assim, numa faixa de baixa umidade, onde o atrito é mais intenso, um aumento de temperatura provoca uma diminuição da viscosidade da massa e o efeito do atrito é minimizado, por isso a retenção aumentou com aumento de temperatura. O atrito mecânico pode, também, ser menor em função de um maior conteúdo de água, daí um aumento da retenção na direção de maior umidade (verificado numa faixa de baixa temperatura).

O calor teve efeito detrimental sobre niacina, quando se verificou que, sob altas temperaturas, a retenção de vitamina diminuiu com o aumento de umidade. Provavelmente, pela maior quantidade de água (veículo de transporte) ocorreu uma melhora na eficiência de transferência de calor, provocando maior destruição das vitaminas.

Pelas variações das perdas de niacina, devido ao atrito mecânico e calor, maior destruição parece estar associada ao efeito do calor.

6. Riboflavina (B2)

Vitamina B2 foi dosada nos extrusados de germe de trigo, bem como no germe trigo cru e os valores encontrados podem ser visto na tabela 45.

Perdas de B2 foram registradas nos extrusados em relação ao germe de trigo cru.

Através de análise de variância verificou-se a influência de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no teor de vitamina B2 dos produtos extrusados.

A ANOVA descrita na tabela 46 mostra que o modelo de regressão reajustado para B2 foi significativo ao nível de $p = 0,0147$ e explica 84% das variações de B2 ($R^2 = 0,84$). O seguinte polinômio, representativo do modelo pode ser utilizado para predizer valores de B2 em função das variáveis estudadas.

$$y = - 1,35 + 22,97 \cdot 10^{-2}U - 2,47 \cdot 10^{-3}T + \\ + 1,24 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,67 \cdot 10^{-3}TU$$

(equação 13)

Tabela 45: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Riboflavina (B2) dos produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		Riboflavina (mg/100g m.s.)	Retenção (%)
	X ₁	X ₂		
01	17	120	0,71	60,7
02	21	120	0,79	67,5
03	17	180	0,98	83,8
04	21	180	0,66	56,4
05	16,2	150	0,76	65,0
06	21,8	150	0,70	59,8
07	19	107,6	0,72	61,5
08	19	192,4	1,15	98,3
09	19	150	0,71	60,7
10	19	150	0,64	54,7
11	19	150	0,69	59,0
germe de trigo cru			1,17	100,0

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 46: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para riboflavina (Bz)

Média das respostas	0,77
Desvio padrão	0,08
Coefficiente de variação	10,35
R ²	0,8389

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	0,2004	0,0500	7,81	0,0147
Resíduo	6	0,0384	0,0064		
Total	10	0,2389			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	-1,35	
U	$22,97 \cdot 10^{-2}$	0,0635
T	$-2,47 \cdot 10^{-3}$	0,8870
T ²	$1,24 \cdot 10^{-4}$	0,0133
TU	$-1,67 \cdot 10^{-3}$	0,0467

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

O diagrama de superfície de resposta gerado pelo polinômio preditivo, encontra-se na figura 42, onde pode ser visualizado o efeito da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima sobre o conteúdo de B2.

No efeito combinado de temperatura e umidade ocorreu um ponto de sela, onde a região estudada foi segmentada por comportamentos distintos.

Numa região de alta temperatura, um aumento no teor de umidade, diminuiu a retenção de B2, já para uma faixa de baixa temperatura, o efeito de umidade foi inverso.

Em região de baixa umidade a retenção aumentou com aumento de temperatura, e para alta umidade a retenção diminuiu com aumento de temperatura até 150°C aproximadamente, em seguida aumentou com contínuos aumentos de temperatura.

Portanto, maior retenção de B2 ocorreu para alta temperatura e baixa umidade, e maiores perdas de B2 foram verificadas em baixas temperatura e umidade, ou alta umidade e temperatura média (ao redor de 150°C).

As tendências apresentadas pelas variações de riboflavina, também parecem estar associadas ao efeito do atrito mecânico e calor, assim como a niacina, e o mesmo raciocínio pode ser empregado aqui. Aumento da quantidade de água diminuiu o atrito, devido à maior lubrificação da massa e, por outro lado, melhora a transferência de calor, pois funciona como veículo de condução de calor. Por isso, as maiores perdas são verificadas em baixas temperatura e umidade (maior atrito) e a maior retenção em baixa umidade e alta temperatura. Maior temperatura diminui a viscosidade da massa e o efeito do atrito é suavizado.

No entanto, verificou-se que em regiões de baixa temperatura, onde as variações de B2 são provocadas principalmente em função do atrito mecânico, ocorreram as maiores perdas, enquanto que em regiões de alta temperatura, ocorreram as menores perdas. Dessa forma, pode-se dizer que entre os dois fatores atrito mecânico e calor, responsáveis pela destruição de Riboflavina, o primeiro parece ser mais detrimental do que o segundo. Possivelmente, isto esteja também relacionado à característica termo resistente reportada à B2 na literatura (Association of Vitamin Chemists, 1966; Beetner et al., 1974).

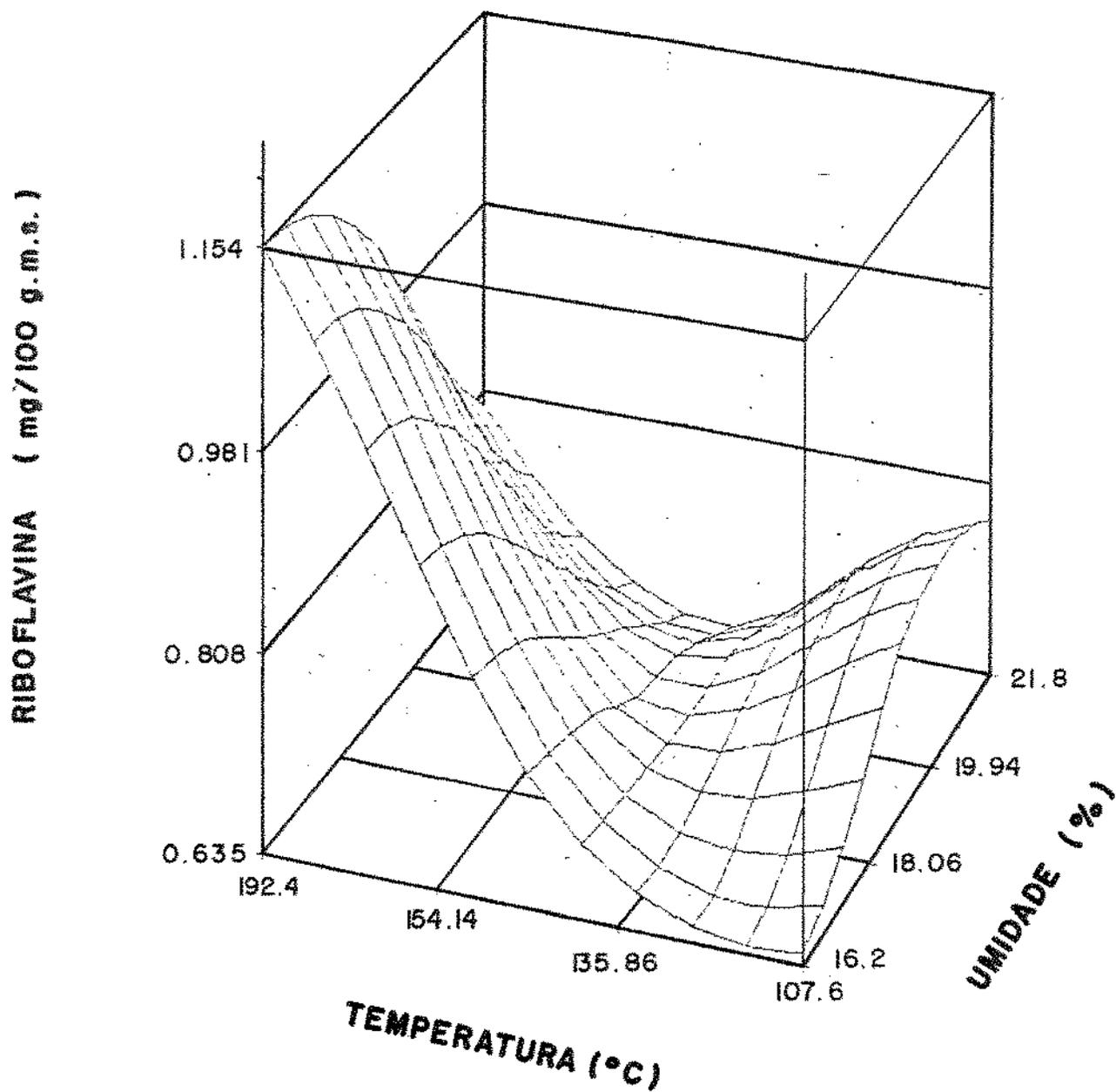


Figura 42: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Riboflavina de produtos extrusados de germe de trigo

Em extrusão de "grits" de milho com extrusor Brabender plasticorder à temperatura de 149 a 193°C (comparável à faixa de alta temperatura do presente trabalho), umidade 13 a 16% e rotação da rosca 75 a 125 rpm, BEETNER et al. 1974) encontraram efeito semelhante para Riboflavina em função da umidade, isto é, diminuindo a umidade verificou-se maior retenção de B2. Esse comportamento também foi associado a menor rotação de rosca e o efeito da temperatura não foi significativo.

Em outro trabalho do mesmo autor BEETNER et al. (1976) encontraram que perdas de B2 estavam associadas somente a temperatura de extrusão, ocorrendo maior retenção a altas temperaturas. Neste caso as condições de trabalho foram: temperatura de 194 a 250°C, umidade de 15 a 25% e diâmetro da matriz de 0,156 a 0,313 cm.

O autor associou o aparente efeito benéfico do calor a uma diminuição do cisalhamento a altas temperaturas.

Melhor estabilidade de B2 a alta temperatura foi também reportado por HARPER et al. (1977). A 154°C a retenção de Riboflavina em extrusado de milho e soja foi de 65 - 72%, enquanto 95 - 100% foi retido a 171°C.

7. Tiamina (B1)

Os valores de Tiamina dos produtos extrusados de germe de trigo e germe de trigo cru obtidos experimentalmente estão apresentados na tabela 47, mostrando que houve perda da vitamina durante a extrusão. A retenção média de tiamina foi de 69%.

Seguindo a mesma metodologia, após análise do modelo completo de regressão, procedeu-se a elaboração de um modelo reajustado. Conforme resultados da análise de regressão apresentada na tabela 48, o modelo reajustado, baseado somente no efeito linear de temperatura foi significativo ao nível de $p = 0,0071$ e explica 57% da variação de B1 ($R^2 = 0,5712$). O modelo encontrado foi considerado aceitável e a tendência da resposta B1 em função da temperatura pode ser estudada pela seguinte equação:

$$Y = 2,62 - 6,32 \cdot 10^{-3}T \quad (\text{equação 14})$$

Pela equação 14 verifica-se que, com aumento de temperatura de extrusão ocorreu um decréscimo no teor de tiamina. Isto pode ser visualizado pela figura 43.

Tabela 47: Influência da temperatura de extrusão e umidade da ma

Tabela 47: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de tiamina (B1) dos produtos extrusados de germe trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		Tiamina (mg/100 g)	Retenção (%)
	X ₁	X ₂		
01	17	120	1,63	67,6
02	21	120	1,81	75,1
03	17	180	1,55	64,3
04	21	180	1,25	51,9
05	16,2	150	1,61	66,8
06	21,8	150	1,73	71,8
07	19	107,6	2,02	83,8
08	19	192,4	1,40	58,1
09	19	150	1,94	80,5
10	19	150	1,63	67,6
11	19	150	1,79	74,3
germe de trigo cru			2,41	100,0

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 48: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para tiamina (B1)

Média das respostas	1,67
Desvio padrão	0,15
Coefficiente de variação	9,28
R ²	0,5712

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	1	0,2876	0,2876	11,99	0,0071
Resíduo	9	0,2159	0,0240		
Total	10	0,5035			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	2,62	
T	$6,32 \cdot 10^{-3}$	0,0071

T = temperatura de extrusão (°C)

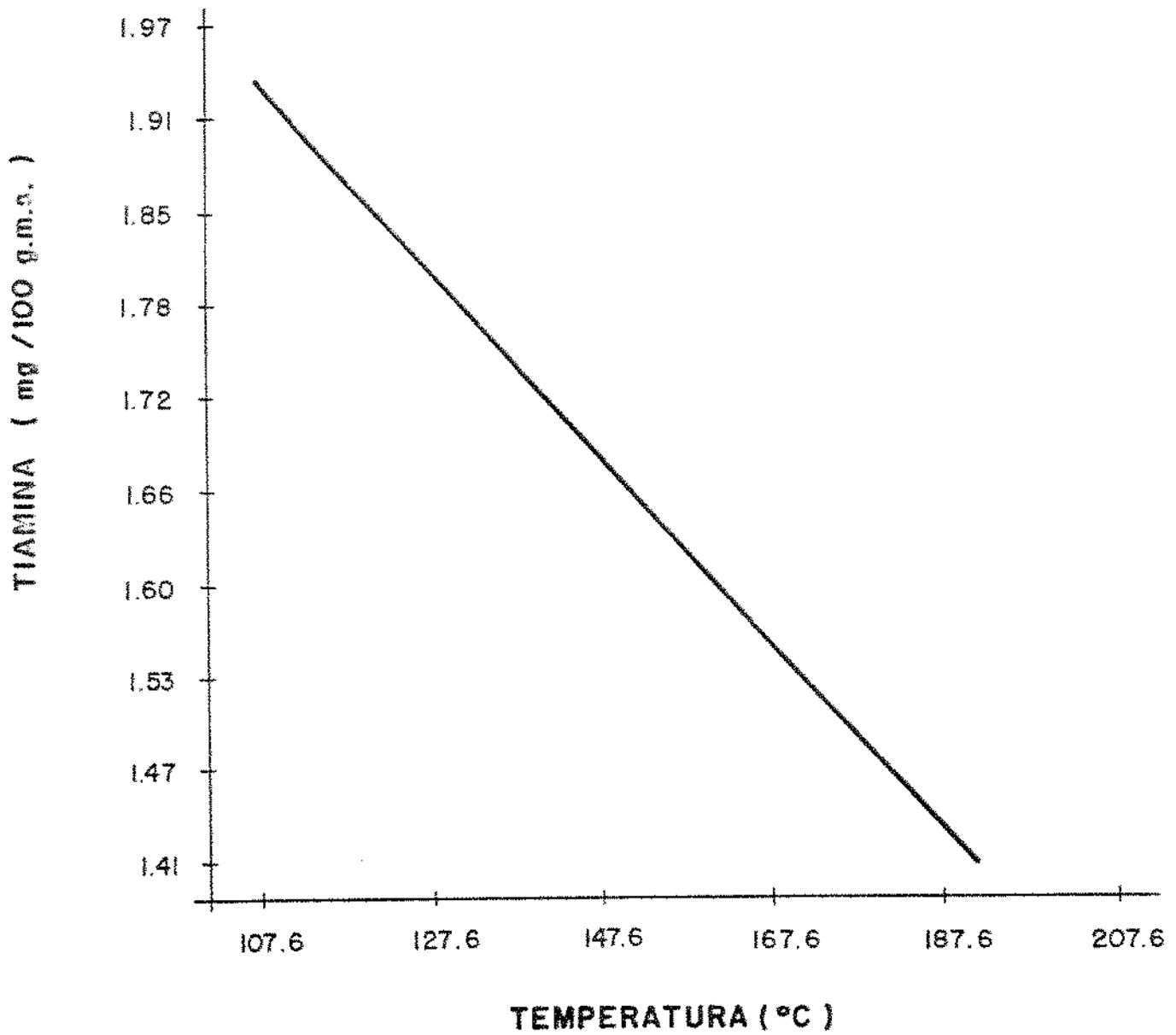


FIGURA 43. Efeito de temperatura de extrusão no conteúdo de tiamina de produtos extrusados de germe de trigo.

Essa tendência está de acordo com a característica termolábil da tiamina, verificada em processos convencionais de aquecimento (BJÖRCK, ASP, 1983).

BEETNER et al. (1974) verificaram a retenção de tiamina durante extrusão de "grits" de milho, os resultados mostraram uma retenção média de tiamina de 54%. A retenção da vitamina decresceu com aumento de temperatura de 149 a 193°C, e o teor de umidade não teve qualquer efeito sobre a tiamina.

8. Pantotenato de cálcio (PantCa)

A retenção média de PantCa após a extrusão de germe de trigo foi da ordem de 58%.

Os valores obtidos de PantCa para germe de trigo cru e os produtos extrusados podem ser vistos na tabela 49.

A ANOVA que expressa a variação de PantCa em função da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão está apresentada na tabela 50. O modelo elaborado com a interação destas variáveis representado pela equação 15 foi significativo ($p = 0,0127$) e explica 85% da variação da resposta ($R^2 = 0,8468$).

$$y = 2,45 - 13,70 \cdot 10^{-2}U - 5,30 \cdot 10^{-3}T + 3,44 \cdot 10^{-3}U^2 + 1,53 \cdot 10^{-5}T^2$$

(equação 15)

O efeito das variáveis no comportamento de PantCa é mostrado na figura 44, onde se observou que o conteúdo de PantCa diminuiu com aumento de temperatura. Um aumento no teor de umidade até 20% também diminuiu a retenção de PantCa. Acima dessa umidade o valor de PantCa foi praticamente constante.

Dessa forma, a retenção de PantCa foi maior nas condições de baixas temperatura e umidade. Maiores perdas ocorreram para altas temperaturas, e umidade acima de 20%.

Neste caso, a temperatura parece ser o fator crítico, pois numa região de baixa temperatura, menores perdas de PantCa foram verificadas e estas aumentaram com aumento de temperatura, culminando com maiores perdas na faixa de alta temperatura.

Tabela 49: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de pantetonato de cálcio (PantCa) de produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		PantCa (mg/100 g)	Retenção (%)
	X_1	X_2		
01	17	120	0,69	61,1
02	21	120	0,68	60,2
03	17	180	0,66	58,4
04	21	180	0,61	54,0
05	16,2	150	0,69	61,1
06	21,8	150	0,66	58,4
07	19	107,6	0,70	62,0
08	19	192,4	0,65	57,5
09	19	150	0,63	55,7
10	19	150	0,64	56,6
11	19	150	0,65	57,5
germe de trigo cru			4,94	100,0

X_1 = umidade da matéria-prima (%)

X_2 = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 50: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para pantetonato de cálcio (PantCa)

Média das respostas	0,66
Desvio padrão	0,01
Coefficiente de variação	2,14
R ²	0,8468

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	0,0066	0,0017	8,29	0,0127
Resíduo	6	0,0012	0,0002		
Total	10	0,0078			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	2,45	
U	-13,70·10 ⁻²	0,0513
T	-5,30·10 ⁻³	0,0372
U ²	3,44·10 ⁻³	0,0597
T ²	1,53·10 ⁻⁵	0,0598

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

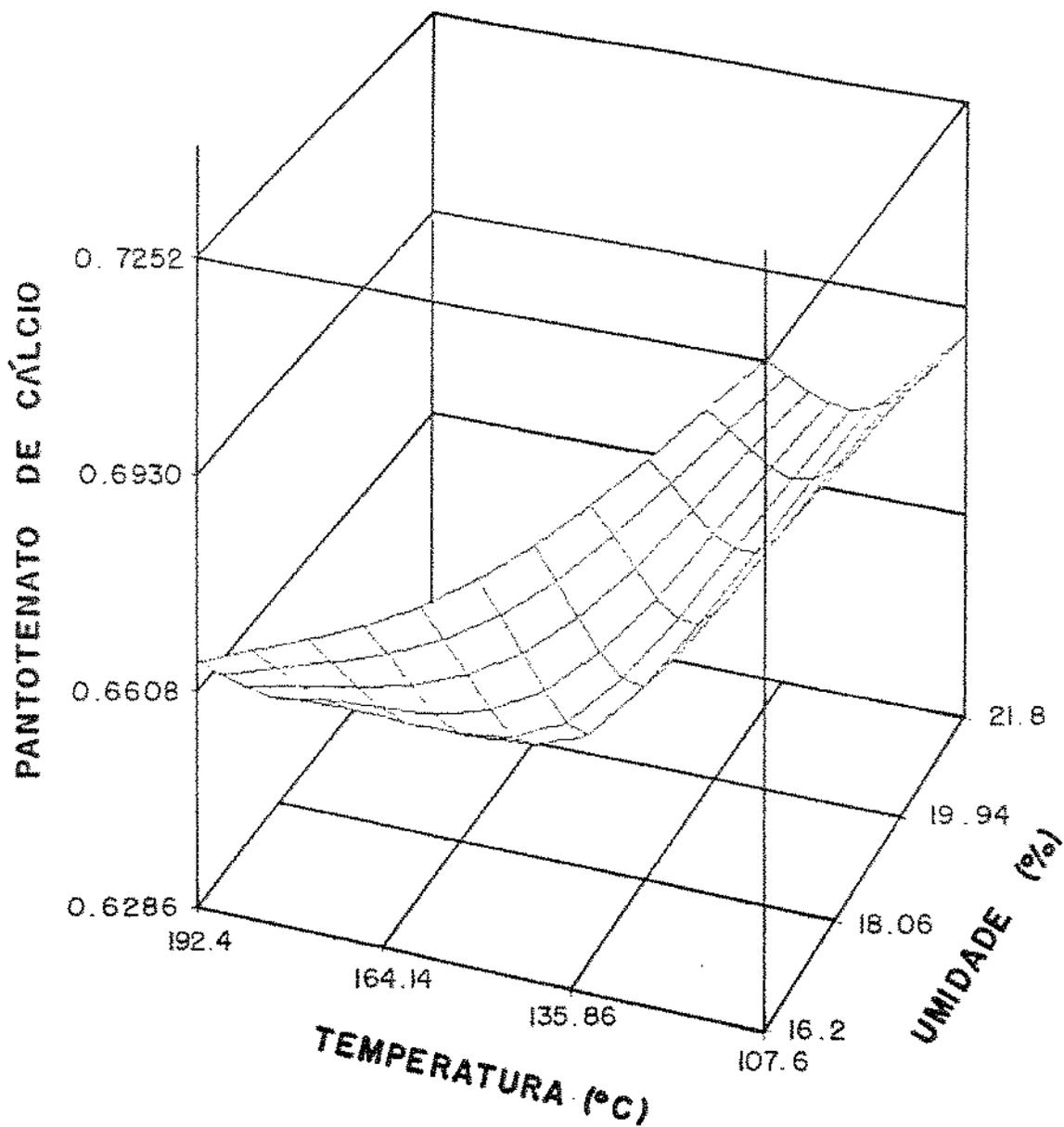


Figura 44: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Pantotenato de Cálcio (mg/100g m.s.) de produtos extrusados de germe de trigo

Pequenas variações no conteúdo de PantCa ocorreram com a variação de umidade, indicando que o atrito teve pouca influência na destruição dessa vitamina, pode-se dizer inclusive que PantCa tem certa resistência ao atrito mecânico, quando se verificou menores perdas na região de baixas temperatura e umidade.

9. Piridoxina (B₆).

O teor de vitamina B₆ foi dosado no germe de trigo cru e nos produtos extrusados, e os valores encontrados podem ser vistos na tabela 51, onde se observa que houve perda dessa vitamina durante a extrusão, apresentando uma média de 74,1% de retenção em relação ao germe cru.

A análise de regressão completa dos resultados obtidos mostrou baixa significância ($p = 0,3617$) do modelo em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, indicando também baixa significância dos efeitos individuais e $R^2 = 0,5826$. Procedeu-se a um reajuste do modelo onde se conservou somente os efeitos lineares de Temperatura e Umidade. Neste caso o modelo foi significativo ao nível de $p = 0,1079$ e $R^2 = 0,43$. A análise de regressão para o modelo reajustado pode ser vista na tabela 52. Embora as condições de extrusão tenham causado certa destruição de piridoxina, as variações encontradas não se ajustam adequadamente a um modelo de regressão em função da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima dentro do intervalo estudado, pois o modelo revelou baixa significância e baixo nível de explicação.

A julgar pelos poucos dados disponíveis, a piridoxina, assim como a niacina parecem ser estáveis durante as condições de extrusão, registrando pequenas perdas (ASP, BJÖRCK, 1989).

Tabela 51: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de piridoxina (B₆) de produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		Piridoxina (mg/100 g)	Retenção (%)
	X ₁	X ₂		
01	17	120	1,18	74,2
02	21	120	1,40	88,1
03	17	180	1,11	69,8
04	21	180	1,17	73,6
05	16,2	150	1,11	69,8
06	21,8	150	1,15	72,3
07	19	107,6	1,15	72,3
08	19	192,4	1,03	64,8
09	19	150	1,20	75,5
10	19	150	1,16	73,0
11	19	150	1,30	81,8
germe de trigo cru			1,59	100,0

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 52: Análise de variância para piridoxina (B6)

Média das respostas	1,18
Desvio padrão	0,08
Coefficiente de variação	7,10
R ²	0,4268

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	2	0,0417	0,0209	2,98	0,1079
Resíduo	8	0,0560	0,0070		
Total	10	0,0978			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	1,07	
U	$2,10 \cdot 10^{-2}$	0,1929
T	$-1,96 \cdot 10^{-3}$	0,0825

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

10. Vitamina E

Vitamina E, representada pela classe dos tocoferóis, foi determinada no germe de trigo cru e nos extrusados de germe de trigo.

Os resultados, conforme tabela 53, mostram que o processo de extrusão causou um efeito detrimental sobre vitamina E, acarretando grandes perdas dessa substância. A retenção de vitamina E após a extrusão variou de 14,1 a 3,4%.

Conforme análise de variância (tabela 54) conduzida com os dados experimentais, foi obtido um modelo de regressão para vitamina E em função das variáveis de extrusão.

O modelo, representado pela equação 16 foi significativo ao nível de $p = 0,0275$ e explica 80% das variações de vitamina E ($R^2 = 0,80$), sendo que a temperatura apresentou efeito mais significativo do que a umidade.

$$y = 29,17 - 9,02^{-1}U - 2,88 \cdot 10^{-1}T + \\ + 5,59 \cdot 10^{-4}T^2 + 7,25 \cdot 10^{-3}UT$$

(equação 16)

As variações no conteúdo de vitamina E, em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima, podem ser vistos na superfície de resposta apresentada na figura 45.

Embora todas as condições tenham causado uma perda substancial de vitamina E, a condição mais detrimental foi de baixa umidade e temperatura entre 150-170°C e a menor perda ocorreu para alta temperatura e alta umidade.

Pouco se sabe sobre a estabilidade de vitamina E durante extrusão. APPELT (1986) reportou perdas de 50-66% de vitamina E em extrusão de produto enriquecido com vitamina E.

HÅKANSSON et al. (1987) estudou a retenção de vitamina E durante extrusão, relatando perda de 79 a 89% numa faixa de temperatura de 148-197°C e umidade de 14,6 a 24,6%.

Tabela 53: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de vitamina E de produtos extrusados de germe de trigo

Experimento	Variáveis de extrusão		Vitamina E (mg/100 g)	Retenção (%)
	X ₁	X ₂		
01	17	120	1,69	7,2
02	21	120	1,36	5,8
03	17	180	1,90	8,1
04	21	180	3,31	14,1
05	16,2	150	0,80	3,4
06	21,8	150	2,13	9,1
07	19	107,6	2,22	9,5
08	19	192,4	2,17	9,2
09	19	150	1,24	5,3
10	19	150	1,29	5,5
11	19	150	1,27	5,4
germe de trigo cru			23,45	100,0

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 54: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para vitamina E

Média das respostas	1,76
Desvio padrão	0,40
Coefficiente de variação	22,64
R ²	0,7993

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	3,8018	0,9505	5,97	0,0275
Resíduo	6	0,9547	0,1591		
Total	10	4,7566			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	29,17	
U	$-9,02 \cdot 10^{-1}$	0,1233
T	$-2,88 \cdot 10^{-1}$	0,0133
T ²	$5,29 \cdot 10^{-4}$	0,0250
UT	$7,25 \cdot 10^{-3}$	0,0720

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

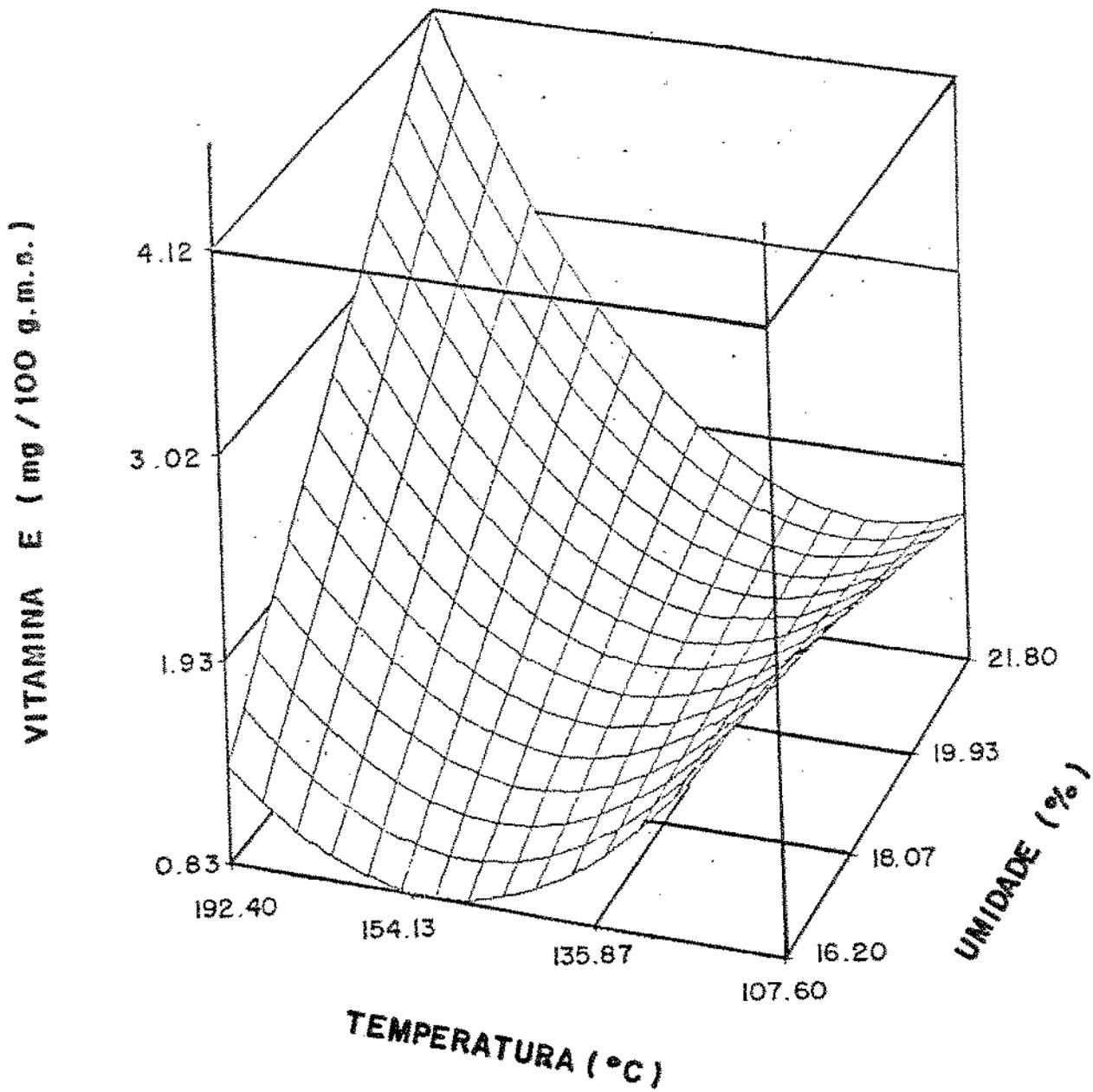


Figura 45: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no conteúdo de Vitamina E de produtos extrusados de germe de trigo

D. EFEITO DE TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA NO ÍNDICE DE PERÓXIDO (IP) E ÍNDICE DE ACIDEZ (IA) DURANTE ARMAZENAMENTO.

Os produtos extrusados de germe de trigo, bem como o germe de trigo cru foram estocados à temperatura ambiente que, durante o armazenamento, variou de 25 a 29°C. O índice de peróxido medido durante o armazenamento, bem como os intervalos de tempo das análises estão relacionados na tabela 55.

Os valores de IP relacionados no período de 100-150 dias foram aqueles encontrados na ocasião em que as amostras foram rejeitadas pela análise sensorial quanto ao odor de ranço.

1. Índice de peróxido logo após a extrusão (t = 48 horas)

Com base nos resultados experimentais, foi elaborada análise de variância completa, onde o efeito quadrático de temperatura foi não significativo. Incorporando esse efeito ao resíduo, novo modelo de regressão foi ajustado para IP em função das variáveis de extrusão.

Como mostra a ANOVA da tabela 56, o modelo de regressão reajustado foi altamente significativo ($p = 0,0003$) e explica 95% das variações de IP ($R^2 = 0,95$). O polinômio preditivo do modelo reajustado está descrito da equação 17.

$$y = 55,0 - 11,53U + 63,34 \cdot 10^{-2}T + \\ + 48,02 \cdot 10^{-2}U^2 - 3,60 \cdot 10^{-2}UT$$

(equação 17)

A figura 46 mostra a superfície de resposta obtida a partir do polinômio preditivo, onde pode ser verificada as tendências de IP em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima.

Neste caso o IP aumentou drasticamente com incremento de umidade numa região de baixa temperatura, enquanto que numa região de alta temperatura menor IP ocorreu para umidade em torno de 19%, aumentando para os extremos de umidade.

Para menor umidade, incremento na temperatura aumentou o IP, em alta umidade incremento de temperatura diminuiu o IP. Assim, menor valor de IP foi obtido para baixas umidade e temperatura, ou temperatura acima de 180°C aproximadamente, e umidade entre 18 e 20%. Maiores valores de IP ocorreram a alta umidade e baixa temperatura

Tabela 55: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Índice de Peróxido (IP) de produtos extrusados de germe de trigo logo após extrusão e durante armazenamento

Experi- mento	Variáveis		Índice de peróxido (meq.de peróxido/1000 g de óleo)						
	X ₁	X ₂	48 horas	15 dias	30 dias	50 dias	70 dias	85 dias	100-150 dias
1	17	120	1,21	125	168	210	261	300	440**
2	21	120	9,97	120	172	204	257	294	423**
3	17	180	1,51	130	165	198	262	407	580*
4	21	180	1,64	126	158	172	221	238	441**
5	16,2	150	1,49	135	183	204	255	283	459*
6	21,8	150	10,13	113	164	194	230	261	706***
7	19	107,6	3,93	3,24	9,4	18,9	23,2	25,2	182***
8	19	192,4	1,16	102	154	181	208	213	370***
9	19	150	1,43	124	171	201	255	310	560*
10	19	150	1,84	127	173	206	258	351	639*
11	19	150	1,27	123	170	198	243	322	662**
Germe de trigo cru (100g m.s.)			1,09	0,92	1,48	1,41	1,57	1,21	1,79***
(b) germe de trigo cru (67,8g m.s.)			0,74	0,62	1,00	0,96	1,05	1,79	1,15

(b) 67,8 g de germe de trigo refere-se à quantidade de germe presente na matéria-prima extrusada

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

* = valor encontrado com 100 dias de armazenamento

** = valor encontrado com 110 dias de armazenamento

*** = valor encontrado com 150 dias de armazenamento

Tabela 56: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Índice de Peróxido (t = 48 horas)

Média das respostas	3,23
Desvio padrão	0,93
Coeficiente de variação	29,00
R ²	0,95

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	114,1379	28,5345	32,41	0,0003
Resíduo	6	5,2826	0,8804		
Total	10	119,4205			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	55,02	
U	-11,53	0,0238
T	$63,34 \cdot 10^{-2}$	0,0054
U ²	$48,02 \cdot 10^{-2}$	0,0024
UT	$-3,60 \cdot 10^{-2}$	0,0037

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

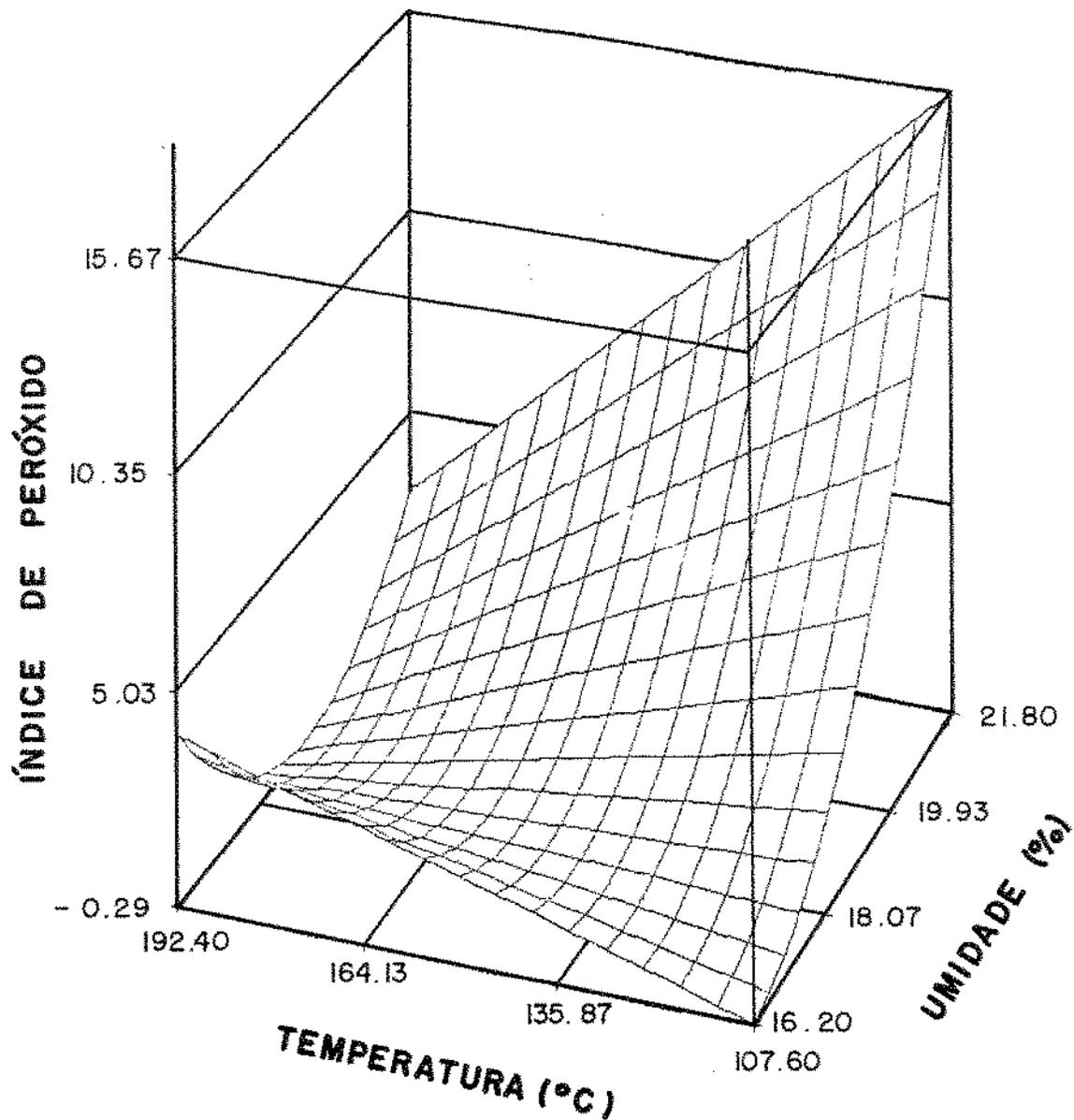


Figura 46: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Índice de Peróxido (meq. de O₂/1000 g de óleo) de produtos extrusados de germe de trigo (t = 48 horas)

2. Índice de Peróxido durante armazenamento

Na avaliação dos extrusados durante armazenamento, verificou-se que o IP aumentou drasticamente para todos os extrusados, com exceção daquele à temperatura de 107,6°C e umidade de 19% onde o IP aumentou, porém, em níveis mais baixos.

Através de análise de variância para cada período de armazenamento verificou-se que IP mostrou tendência muito semelhante durante todo o armazenamento, e que sua variação foi explicada somente em função de temperatura de extrusão.

As equações de regressão encontradas a partir de análise de variância para IP durante armazenamento, bem como um resumo informativo da adequabilidade do modelo estão apresentados na tabela 57.

Devido à complexidade da reação de oxidação de óleos e do processo de extrusão, os modelos de regressão obtidos foram considerados aceitáveis para estudo das tendências de IP em função de temperatura de extrusão durante armazenamento. Através das equações apresentadas na tabela 57 foram elaboradas curvas de IP em função da temperatura de extrusão para cada período de armazenamento, o que pode ser visto na figura 47.

Verificou-se que IP aumentou com o aumento de temperatura de extrusão até aproximadamente 155°C, em seguida IP apresentou uma ligeira queda para temperaturas maiores. Esta tendência foi verificada para todos os períodos de armazenamento.

É interessante notar que o IP aumentou com o tempo de armazenamento em relação ao germe cru, atingindo altos níveis, o que indica que o acúmulo de peróxido foi maior do que sua degradação durante a estocagem.

HAMILTON (1983) reportou que a rancidez oxidativa ou oxidação pode ocorrer por via enzimática, pela ação das enzimas lipoxigenases, ou por via não enzimática (autooxidação ou fotooxidação). A deterioração por via não enzimática é a que causa maior impacto sobre óleos e gorduras.

Possivelmente, neste caso, os peróxidos estão sendo formados por via não enzimática, ou seja, por autooxidação ou fotooxidação e não pela ação de enzimas lipoxigenases, que devido ao tratamento térmico provavelmente foram desnaturadas.

NOGUSHI (1986) apud Cheftel (1989) conseguiu completa inativação de lipoxigenase em soja, através de extrusão, à temperatura de 140°C, umidade de 20% e tempo de residência média de 20 segundos.

Os altos valores de IP encontrados nos extrusados de germe de trigo em relação ao germe cru, pode ser atribuído a três fatores, quais sejam:

• Durante a extrusão, devido as condições de atrito e cisalhamento, as estruturas celulares do germe podem ser rompidas, expondo, portanto, o óleo do germe a um maior contato com oxigênio.

• A grande perda de vitamina E, verificada durante a extrusão deixa o óleo do germe desprotegido do efeito antioxidante desses tocoferóis, presentes naturalmente no germe cru. O teor de vitamina E encontrado no germe cru foi de 23,45 mg/100 g m.s. enquanto que nos produtos extrusados o teor de vitamina E variou de 0,80 a 3,31 mg/100g m.s. (vide tabela 53).

• Na composição do óleo de germe de trigo, foi encontrada grande quantidade de ácidos graxos insaturados 81,14% (vide tabela 18). Naturalmente, um maior número de insaturações torna o óleo mais susceptível à degradação oxidativa.

HAMILTON (1983) cita que a taxa de reação de oxidação depende do número de duplas ligações presentes. Desta forma, o ácido linoléico (2 duplas) e o ácido linolênico (3 duplas) são oxidados, respectivamente 64 a 100 vezes mais rápido que o ácido oléico (1 dupla).

Tabela 57: Equações de regressão para IP em função de temperatura de extrusão durante armazenamento

Tempo (dias)	Equação de regressão	Prob > F	R ²
15	$y = - 696,61 + 10,43T - 3,27 \cdot 10^{-2}T^2$	0,0264	0,5967
30	$y = - 898,45 + 13,59T - 4,27 \cdot 10^{-2}T^2$	0,0321	0,5767
50	$y = - 961,34 + 14,86T - 4,70 \cdot 10^{-2}T^2$	0,0577	0,5099
70	$y = -1233,71 + 19,03T - 6,03 \cdot 10^{-2}T^2$	0,0566	0,5122
85	$y = -1768,95 + 26,64T - 8,44 \cdot 10^{-2}T^2$	0,0604	0,5043
100-150	$y = -3637,19 + 54,89T - 17,71 \cdot 10^{-2}T^2$	0,0025	0,7770

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

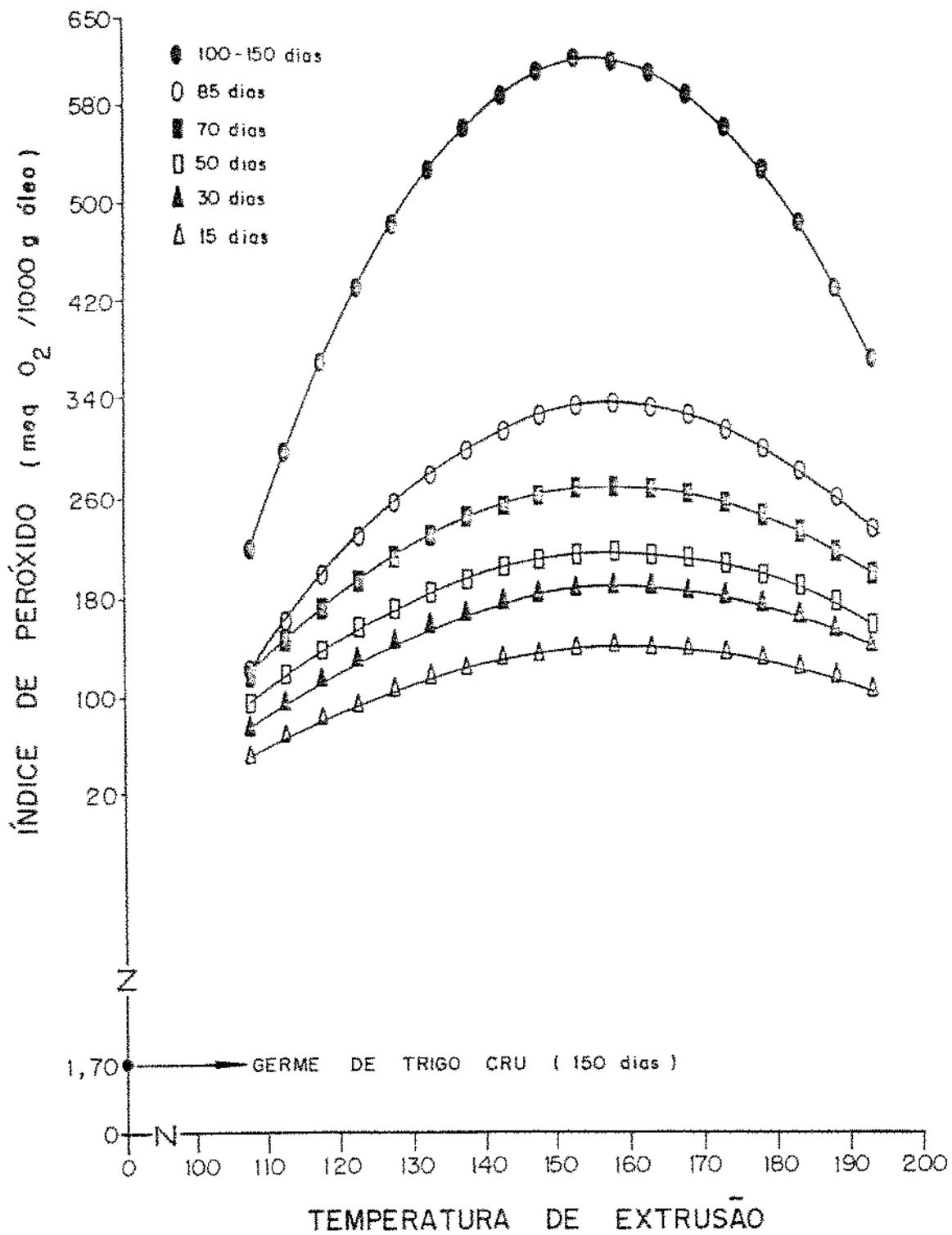


Figura 47: Índice de peróxido dos extrusados de germe de trigo em função de temperatura de extrusão e tempo de armazenamento

3. Índice de Acidez (IA) para os produtos extrusados de germe de trigo

Paralelamente à determinação de IP, foi determinado também o IA para os produtos extrusados de germe de trigo logo após a extrusão e durante o armazenamento.

Os valores obtidos para IA conforme condições de extrusão e tempo de armazenamento estão descritos na tabela 58. Os IAs listados no período de 100-150 dias referem-se aqueles encontrados por ocasião da rejeição dos produtos através de análise sensorial pelo odor de ranço.

4. Índice de Acidez logo após a extrusão (t = 48 horas)

O modelo de regressão reajustado para IA em função das variáveis de extrusão apresentou significância ao nível de $p = 0,0809$ e $R^2 = 0,70$ conforme tabela 59. O modelo foi considerado aceitável e pode ser empregado com certa cautela para se estudar apenas as tendências de IA em função das variáveis de extrusão.

A equação 18 descreve a relação de IA com as variáveis de extrusão.

$$y = 48,50 - 1,39U - 0,39T + 6,4 \cdot 10^{-4} T^2 + 1,03 \cdot 10^{-2} UT$$

(equação 18)

A superfície de resposta apresentada na figura 48 ilustra as tendências de IA em função da temperatura e umidade, onde se verificou que um acréscimo da umidade aumentou a acidez, numa região de alta temperatura. Um efeito contrário e mais moderado foi observado numa região de baixa temperatura.

Para uma faixa de alta umidade a acidez diminui com decréscimo de temperatura até 140°C , permanecendo praticamente constante para temperaturas menores. Já numa faixa de baixa umidade aumentos de temperatura diminuíram a acidez.

Dessa forma, menor acidez ocorreu para condição de temperatura acima de 160°C e baixa umidade. Maiores índices de acidez foram obtidos em duas condições distintas, altas temperatura e umidade, ou nos extremos opostos.

Segundo Hamilton (1983), o aumento de acidez ou ácidos graxos livres em óleos e gorduras, ocorre devido a rancidez hidrolítica, provocada pela ação das enzimas lipases que catalizam a hidrólise dos triglicerídeos liberando ácidos graxos.

Tabela 58: Influência da temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Índice de Acidez (IA) de produtos extrusados de germe de trigo logo após a extrusão e durante armazenamento

Experi- mento	Variáveis		Índice de acidez (mg KOH/g de óleo)						
	X ₁	X ₂	48 horas	15 dias	30 dias	50 dias	70 dias	85 dias	100-150 dias
1	17	120	8,44	7,02	6,58	7,81	8,65	9,11	10,21**
2	21	120	7,54	5,84	5,62	6,40	7,08	6,25	7,70**
3	17	180	6,87	6,87	6,46	7,92	7,55	8,70	12,24*
4	21	180	8,45	7,90	7,63	8,49	8,67	9,22	10,55**
5	16,2	150	5,70	6,29	6,37	6,59	6,56	7,02	8,05*
6	21,8	150	7,00	7,98	7,37	8,71	8,25	8,11	17,04***
7	19	107,6	7,94	7,24	7,38	8,42	7,93	7,69	18,21***
8	19	192,4	7,61	7,86	7,45	8,40	8,63	8,67	12,54***
9	19	150	6,73	6,73	7,29	7,19	7,47	7,65	9,97*
10	19	150	7,06	7,20	7,49	7,36	7,93	7,90	15,33*
11	19	150	7,57	7,37	7,45	7,82	8,10	8,57	16,56**
Germe de trigo cru (100g m.s.)			7,56	10,48	12,81	14,82	19,03	21,85	31,46***
(b) Germe de trigo cru (67,8g m.s)			5,13	7,11	8,69	10,04	12,90	16,84	21,33

(b) 67,8 g de germe de trigo refere-se à quantidade de germe presente na matéria-prima extrusada

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

* = valor encontrado com 100 dias de armazenamento

** = valor encontrado com 110 dias de armazenamento

*** = valor encontrado com 150 dias de armazenamento

Tabela 59: Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para Índice de Acidez (t = 48 horas)

Média das respostas	7,35
Desvio padrão	0,56
Coefficiente de variação	7,67
R ²	0,70

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	4,5332	1,1333	3,56	0,0809
Resíduo	6	1,9087	0,3181		
Total	10	6,4419			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	48,50	
U	-1,39	0,0984
T	-0,39	0,0154
T ²	$6,40 \cdot 10^{-4}$	0,0443
UT	$1,03 \cdot 10^{-2}$	0,0702

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

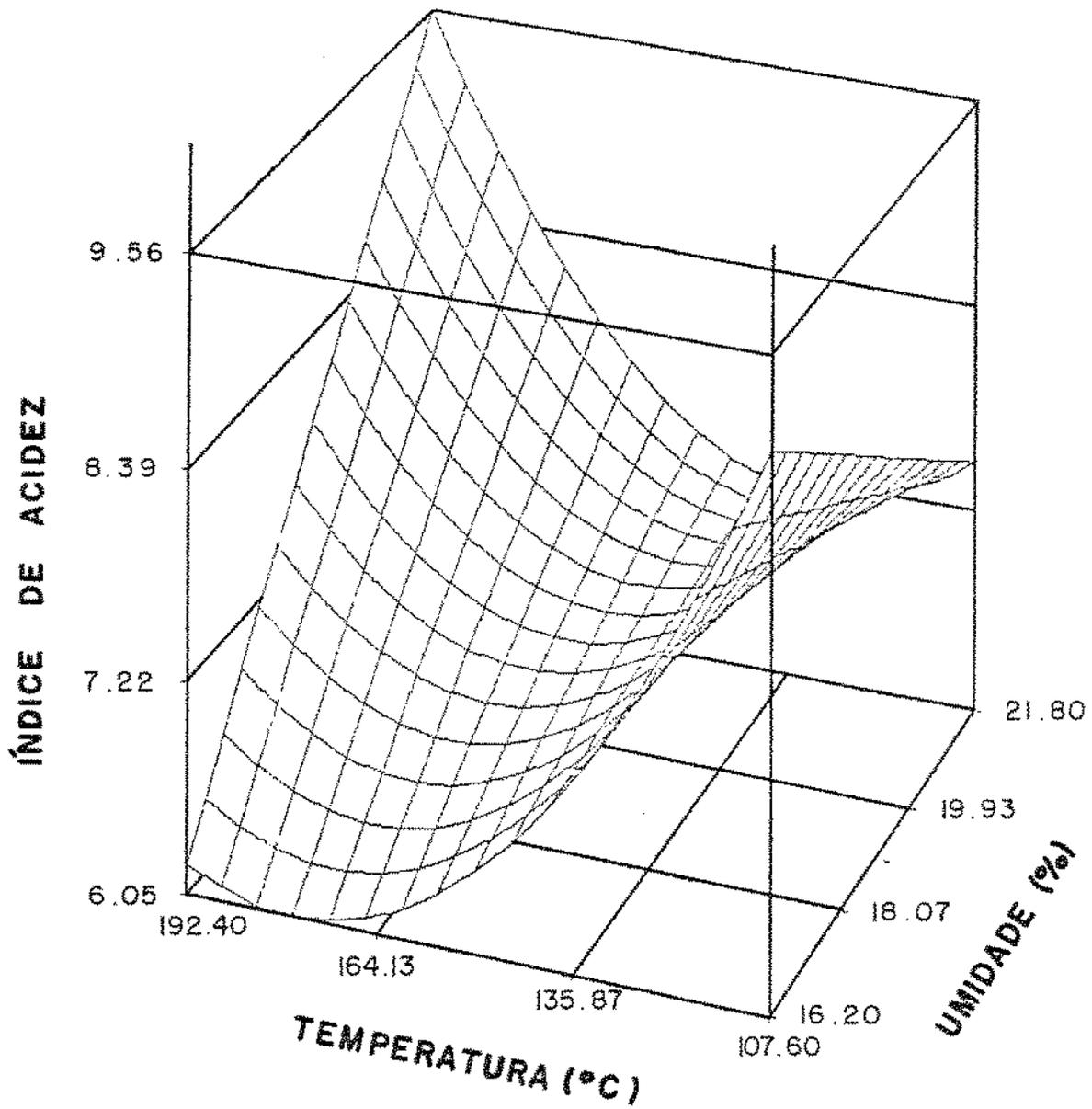


Figura 48: Efeito de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima no Índice de Acidez (mg KOH/g óleo de produtos extrusados de germe de trigo (t = 48 horas)

O aumento de acidez, observado nos produtos extrusados logo após a extrusão (48 h) em relação ao germe de trigo cru foi devido a uma incompleta inativação das lipases. Até que se procedesse à determinação do IA que ocorreu, aproximadamente, em 48 hs após a extrusão, as lipases puderam atuar, inclusive durante o período de secagem dos extrusados que se deu em torno de 6-8 h em estufa de ventilação a uma temperatura de $40 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Coincidentemente, a temperatura ótima de atuação da lipase, encontrada por SINGER, HOFSTEE (1948) foi de 38°C .

Portanto, a condição de extrusão onde se verificou menor acidez, é a mesma onde se obtém maior inativação de lipases, ou seja, temperatura acima de 160°C e baixas umidades.

5. Índice de acidez (IA) nos diferentes períodos de armazenamento

Com base nos dados experimentais foram elaboradas análises de variâncias para IA em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima para cada período de armazenamento.

As equações de regressão obtidas a partir das análises de variância para IA durante o armazenamento, bem como um resumo informativo da adequabilidade do modelo estão apresentados na tabela 60.

De acordo com os resultados das ANOVAS, verifica-se que os modelos propostos não estão bem ajustados aos dados experimentais, pois os níveis de significância apresentados são considerados baixos. Portanto, os modelos não foram significativos e não explicam as variações de IA em função das variáveis estudadas durante o armazenamento.

Por outro lado, fazendo-se uma análise dos dados da tabela 58 no sentido horizontal, isto é, variação de IA em função do tempo de armazenamento para as diferentes amostras, observou-se pequenas variações de IA, ocorrendo um ligeiro aumento de acidez ao final de 85 dias de armazenamento.

Conforme comentado anteriormente, esse ligeiro aumento ocorreu devido a uma atividade residual de lipase, e nesse caso, a atividade da lipase foi ainda mais reduzida devido o teor de umidade dos extrusados estocados, que após a secagem atingiu valores em torno de 6%.

ROTHER (1963) reportou que a atividade de lipase de 100% observada em amostras de germe de trigo com 23,5% de umidade, decresceu, até nenhuma atividade quando o conteúdo de umidade foi reduzido para cerca de 4%.

Portanto as condições de extrusão aqui empregadas foram críticas para lipase, provocando grande destruição dessas enzimas.

Esse fato é evidenciado, quando se analisa o IA para o germe de trigo cru, sob as mesmas condições de armazenamento. Neste caso, onde as lipases estão naturalmente ativas, foi verificado um grande aumento de acidez durante o armazenamento, atingindo valores cerca de 4 vezes maior ao final de 150 dias, do que aquele observado no início (t = 48 h). Isto pode ser visualizado através da figura 49.

Tabela 60: Equações de regressão para IA em função de temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima durante armazenamento

Período (dias)	Equação de regressão	Prob > F	R ²
15	$28,96 - 1,24U - 0,16T + 9,21 \cdot 10^{-3}UT$	0,0656	0,6207
30	$-5,07 + 2,40U - 0,16T - 9,55 \cdot 10^{-2}U^2$	0,1018	0,6774
50	$27,34 - 1,10U - 0,15T + 8,25 \cdot 10^{-3}UT$	0,3498	0,3564
70	$44,19 - 1,56U - 0,31T + 3,47 \cdot 10^{-4}T^2$ $+ 1,20 \cdot 10^{-2}UT$	0,0994	0,6802
85	$46,73 - 2,16U - 0,25T + 1,41 \cdot 10^{-2}UT$	0,0796	0,5977
100-150	$-144,03 + 16,2U + 9,18 \cdot 10^{-4}T$ $- 2,63 \cdot 10^{-4}T^2 - 0,43U^2 + 3,42 \cdot 10^{-3}UT$	0,9269	0,1953

U = umidade da matéria-prima (%)

T = temperatura de extrusão (°C)

ÍNDICE DE ACIDEZ DO GERME DE TRIGO CRU
DURANTE ARMAZENAMENTO

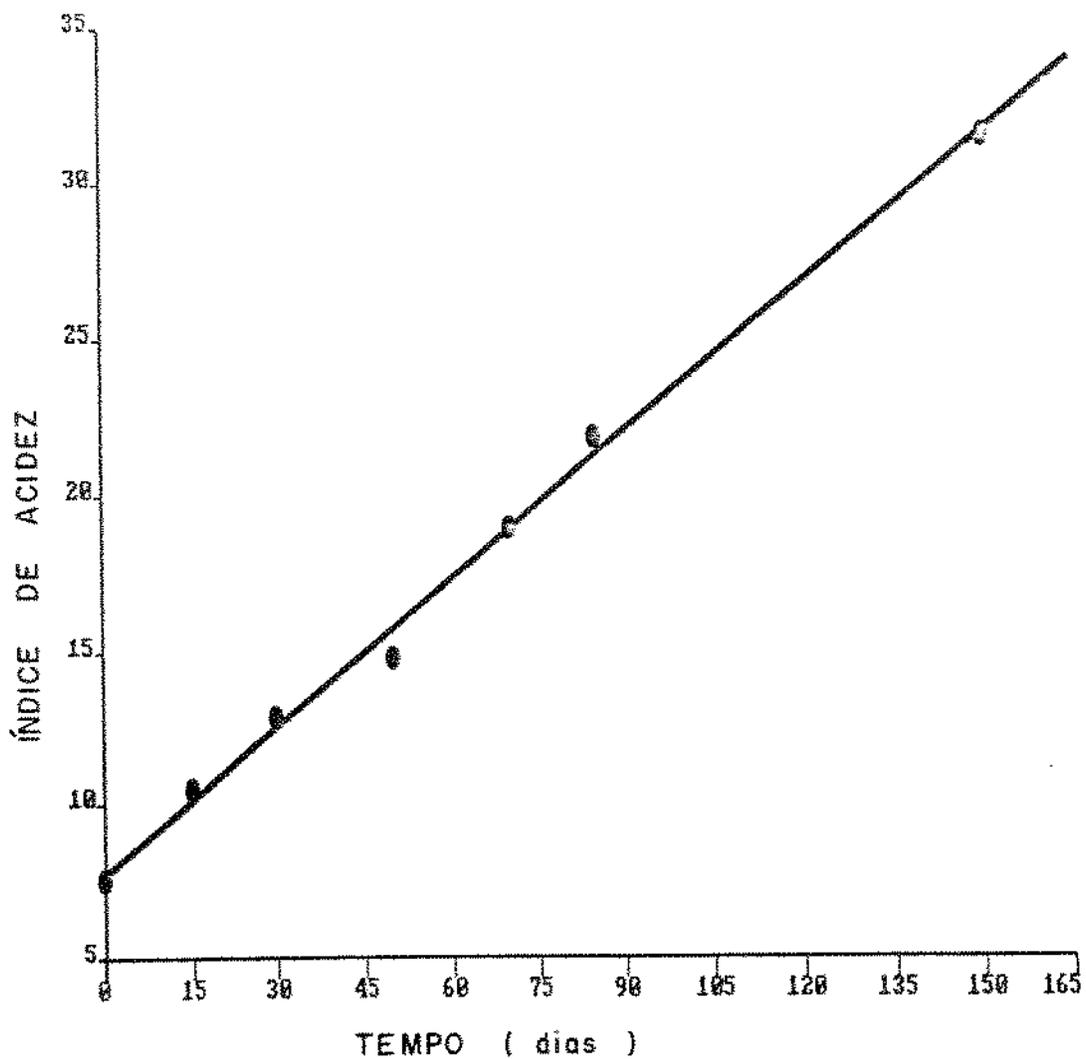


Figura 49: Índice de acidez (mg KOH/g óleo) de germe de trigo cru durante o armazenamento

A elevação do índice de acidez verificada nos produtos extrusados no período de 100-150 dias, pode estar possivelmente associada à própria rancidez oxidativa, constatada pelos mais altos IP encontrados nesse mesmo período. De acordo com DEMAN et al. (1987) o final do período de indução da rancidez oxidativa, de óleos e gorduras coincide com o início da produção de ácidos voláteis (principalmente ácido fórmico e acético) responsáveis parcialmente pela acidez titulável da fração lipídica.

E. Análise sensorial de germe de trigo extrusado durante armazenamento.

O progresso da oxidação ou rancidez pode ser acompanhado por um teste físico ou químico e também por testes sensoriais, a partir dos quais pode ser definido o tempo necessário para que óleos e gorduras, ou alimentos que os contêm, comecem a apresentar mudanças organolépticas, sensorialmente detectáveis.

Os produtos extrusados de germe de trigo foram avaliados sensorialmente, quanto ao odor de ranço, cuja intensidade foi quantificada dentro de uma escala não estruturada que variou de 0 (isento de ranço) a 9 (excessivo odor de ranço). Os resultados obtidos para os diferentes períodos de armazenamento estão descritos na tabela 61.

O nível de aceitabilidade da amostra, em função do odor de ranço verificado, também foi apontado dentro de uma escala não estruturada que variou de 0 (inaceitável) a 9 (aceitável). Neste caso, amostras que apresentaram média de aceitabilidade $\leq 4,5$ foram consideradas rejeitadas. Os resultados podem ser vistos na tabela 62).

Observa-se que para o odor de ranço foi encontrada diferença significativa a nível de 5% entre as amostras, após 70 dias de armazenamento, enquanto que para aceitabilidade, variações significativas entre as amostras foram constatadas somente após 85 dias de armazenamento.

Paralelamente à avaliação sensorial das amostras quanto ao odor de ranço, foi determinado IP e IA. Apesar dos valores elevados de IP verificados após 15 dias de armazenamento (vide tabela 55), com exceção daquela extrusada a $107,6^{\circ}\text{C}$ e $U = 19\%$, no que diz respeito à decomposição dos hidroperóxidos em produtos voláteis, responsáveis pelo odor de ranço detectado pela análise sensorial, a rejeição das amostras somente ocorreu após um período de 100-150 dias de armazenamento. Como verificado anteriormente, a acidez se manteve praticamente constante, durante o

Tabela 61: Média ponderada das notas atribuídas ao odor de ranço dos produtos extrusados de germe de trigo durante armazenamento

Experi- mento	Variáveis		Períodos de avaliação (dias)							
	X ₁	X ₂	15	30	50	70	85	100	110	150
1	17	120	0,22a	0,24a	0,30a	0,06b	1,03ab	0,26d	5,18abcd	5,17ab
2	21	120	0,11a	0,19a	0,22a	0 b	1,16ab	1,03cd	6,11abc	6,63a
3	17	180	0,62a	0,27a	0,20a	1,11a	3,41a	5,25a	7,58ab	6,32a
4	21	180	0 a	0,20a	0,05a	0,43ab	1,82ab	1,26cd	5,99abc	5,67ab
5	16,2	150	0,47a	0,17a	0,16a	0,53ab	1,54ab	4,38ab	6,66ab	6,15ab
6	21,8	150	0,38a	0,17a	0,09a	0,20ab	0,50b	1,31cd	3,40cd	6,65a
7	19	107,6	0,03a	0 a	0 a	0,36ab	0,70b	1,32cd	2,57d	4,23b
8	19	192,4	0,37a	0,80a	0,57a	0,73ab	1,97ab	2,27bcd	5,00bcd	6,11ab
9	19	150	0,37a	0,12a	0,09a	0,24b	2,19ab	5,16a	7,90ab	5,89ab
10	19	150	0,01a	0,13a	0,05a	0,41ab	2,21ab	5,92a	8,23a	6,54a
11	19	150	0,56a	0,05a	0 a	0,41ab	1,02ab	3,42abc	7,19ab	5,65ab

Valores com letras iguais na direção vertical não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

Tabela 62: Média ponderada das notas atribuídas à aceitabilidade dos produtos extrusados de germe de trigo durante armazenamento

Experi- mento	Variáveis		Períodos de avaliação (dias)							
	X ₁	X ₂	15	30	50	70	85	100	110	150
1	17	120	8,27a	8,91a	8,67a	8,37a	8,18ab	8,81a	4,6*abc	4,38a
2	21	120	8,62a	8,78a	8,74a	8,70a	7,76ab	7,52abc	4,28*abc	1,59b
3	17	180	8,26a	8,64a	8,83a	8,16a	6,06b	3,4*bcd	1,78bc	2,06ab
4	21	180	9,03a	8,71a	8,81a	8,57a	7,39ab	7,36abcd	3,56*abc	1,91ab
5	16,2	150	8,45a	8,77a	8,94a	8,51a	7,89ab	4,21*abcd	2,94abc	2,08ab
6	21,8	150	8,39a	8,80a	8,89a	8,60a	8,64a	7,5abc	6,18ab	1,45*b
7	19	107,6	8,87a	8,48a	8,97a	8,96a	8,08ab	7,82ab	6,68a	3,58*ab
8	19	192,4	7,91a	8,49a	8,94a	8,03a	7,22ab	6,69abcd	4,78abc	1,95*ab
9	19	150	8,83a	8,71a	9,00a	8,72a	7,27ab	2,99*cd	2,20abc	2,04ab
10	19	150	8,61a	8,79a	9,00a	8,55a	6,58ab	2,77*d	0,98c	1,43b
11	19	150	8,36a	8,67a	8,97a	8,32a	7,77ab	5,21abcd	0,83*c	2,73ab

Valores com letras iguais na direção vertical não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância

* = amostras rejeitadas

A amostra referente ao experimento 1 foi considerada rejeitada após 110 dias, pois sua média aritmética foi de 3,92

X₁ = umidade da matéria-prima (%)

X₂ = temperatura de extrusão (°C)

armazenamento, só mostrando elevações consideráveis na ocasião da rejeição (vide tabela 58). Portanto, pode-se considerar que os produtos extrusados de germe de trigo apresentaram estabilidade por um período de tempo ao redor de 100 dias quando armazenados sob temperatura ambiente (25-29°C), em sacos plásticos e protegidos de incidência direta de luz (acondicionados em caixas de papelão).

Embora não tenha sido possível encontrar um critério para explicar a ordem de rejeição das amostras, verificou-se que o valor de IP crítico (IP_c), ou seja, aquele encontrado por ocasião da rejeição das amostras, parece estar relacionado com temperatura de extrusão.

Assim, foi possível delimitar uma região de rejeição das amostras em função do IP_c e temperatura de extrusão, o que pode ser visualizado na figura 50.

Verificou-se que os produtos extrusados a baixa temperatura, foram rejeitados com menores valores de IP_c. Com aumentos de temperatura de extrusão até 155°C aproximadamente, o IP_c aumentou drasticamente, a seguir IP_c diminuiu moderadamente para temperaturas de extrusão acima de 155°C.

Durante a reação de oxidação de óleos e gorduras, ocorre a formação de hidroperóxidos, que não são voláteis, não tem odor e nem sabor, porém são instáveis e sua decomposição dá origem a compostos voláteis como aldeídos, cetonas, álcoois, ácidos carboxílicos de baixo peso molecular e também a dímeros e polímeros (compostos de alto peso molecular) (FRANKEL, 1983, LILLARD 1983).

Como a análise sensorial detectou o odor de ranço a partir dos compostos voláteis formados pela decomposição dos hidroperóxidos, é possível que as diferentes temperatura de extrusão tenham induzido à formação de hidroperóxidos com diferentes características, o que pode influenciar na sua taxa de redução bem como nos tipos de produtos formados a partir de sua decomposição.

Segundo GUNSTONE (1984) antes de ocorrer a reação entre o oxigênio e os ácidos graxos insaturados, um deles deve ser ativado, ou o ácido graxo é convertido num radical estabilizado por ressonância (autooxidação) ou o oxigênio é elevado a um nível mais alto de energia (fotooxidação). Estas duas rotas dão produtos similares mas não idênticos.

MEHLENBACHER (1960), cita que os hidroperóxidos formados durante a oxidação da gordura são de carácter variável, dependendo das condições sob as quais se formaram. Observou-se que os hidroperóxidos formados a alta temperatura se reduziam com maior dificuldade do que os formados a temperaturas moderadas.

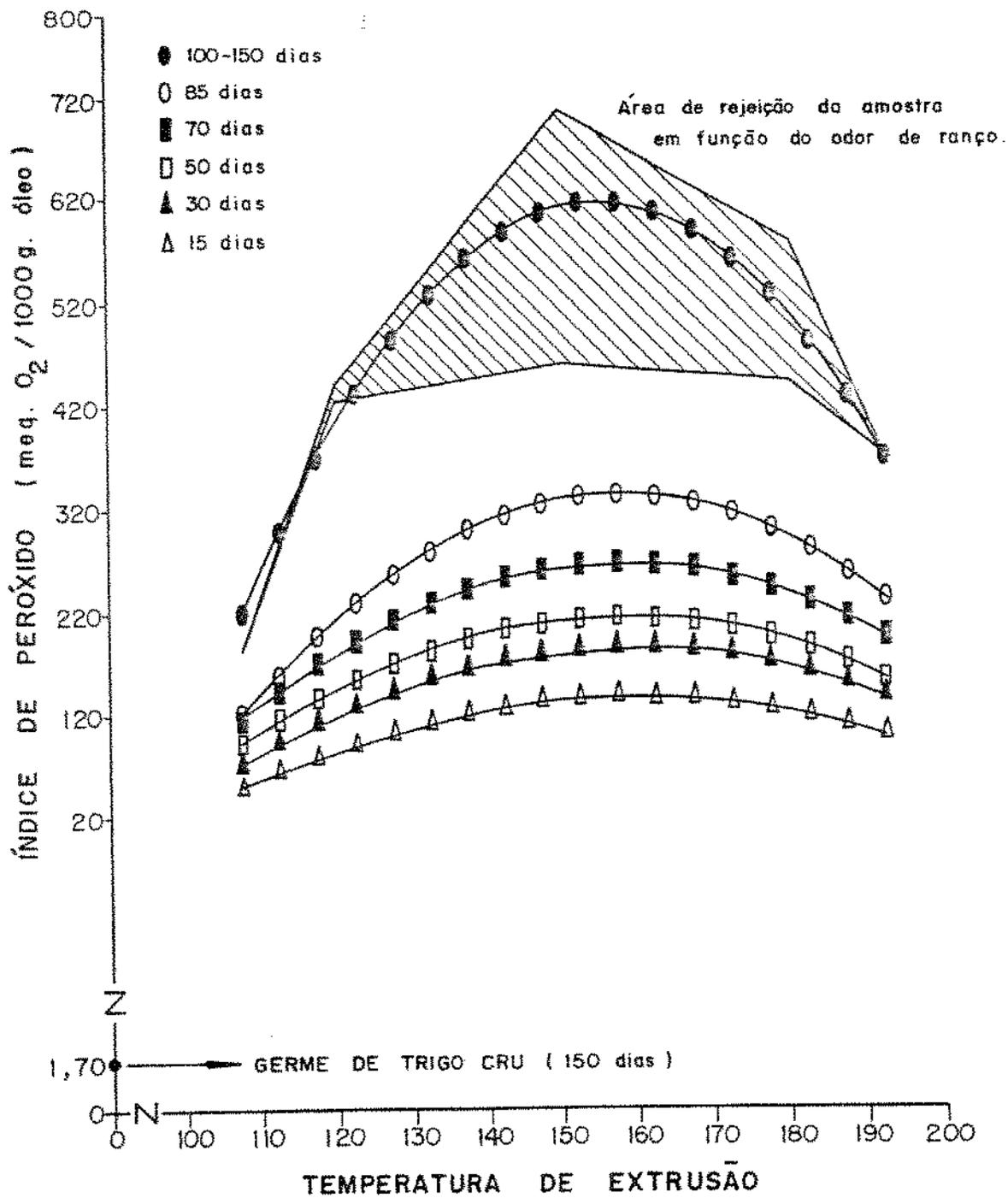


Figura 50: Área de rejeição das amostras em função do odor de ranço relacionado ao IPc e temperatura de extrusão

V. CONCLUSÕES

A. EFEITO DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO, UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA, TEOR DE AMIDO E TEOR DE AÇÚCAR NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS PRODUTOS EXTRUSADOS DE GERME DE TRIGO

- O índice de absorção de água aumenta com temperatura, umidade e teor de amido. Açúcar contribui para maior absorção de água num intervalo de 5 a 11%.

- O índice de solubilidade apresenta uma relação direta com açúcar e indireta com amido. Maior solubilidade ocorre para baixas temperatura e umidade, ou nos extremos opostos.

- A expansão aumenta com temperatura de extrusão e amido. Para alta temperatura a expansão aumenta com teor de açúcar e o inverso ocorre para baixa temperatura.

- A densidade diminui na direção de alta temperatura e baixo teor de açúcar para uma combinação de baixa umidade e alto amido, ou alta umidade e baixo amido.

- A dureza diminui na direção de alta temperatura e baixos teores de água, açúcar e amido.

- Produtos mais escuros ocorrem com aumento de temperatura e umidade. Amido e açúcar contribuem para tornar os produtos mais claros.

B. EFEITO DE TEMPERATURA DE EXTRUSÃO E UMIDADE DA MATÉRIA-PRIMA NA QUALIDADE NUTRICIONAL DO PRODUTO EXTRUSADO DE GERME DE TRIGO.

- A temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima afetam a digestibilidade, valor biológico e utilização líquida de proteína, obtendo maiores valores para temperatura de 130°C, aproximadamente, e baixas umidades.

- A temperatura de extrusão foi a variável mais significativa ocorrendo menores valores absolutos para Da, VBa e NPUa, no produto extrusado à temperatura de 192,4°C e 19% de umidade.

- Foi possível obter produtos extrusados de germe de trigo com boa qualidade nutricional das proteínas, apresentando valores de Da, VBa, NPUa e NPR próximos ao da caseína e germe de trigo cru.

- As vitaminas são afetadas pela temperatura e umidade da matéria-prima, sendo o atrito mecânico e o calor, os responsáveis pela destruição das vitaminas.

- Riboflavina é a vitamina mais resistente à temperatura e mais sensível ao atrito, menores perdas ocorrem a alta temperatura.

- A niacina, tiamina e pantotenato de cálcio são mais afetadas pelo calor.

- Menores perdas ocorrem para piridoxina, enquanto as maiores perdas são registradas para vitamina E.

C. ESTABILIDADE DOS PRODUTOS EXTRUSADOS DE GERME DE TRIGO DURANTE ARMAZENAMENTO.

- O índice de peróxido é afetado pela temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima logo após a extrusão, e durante o armazenamento somente pela temperatura de extrusão, aumentando com aumento de temperatura até 155°C aproximadamente.

- O índice de acidez é afetado pelas condições de extrusão logo após a extrusão, apresentando menores valores para baixa umidade e temperatura acima de 160°C

- É possível reduzir a atividade de lipase através de extrusão e a melhor condição coincide com aquela de menor índice de acidez.

- Através de análise sensorial, os extrusados são rejeitados devido ao odor de ranço, somente, após um período de armazenamento de 100 dias aproximadamente.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLINSON, J.B. The nutritive value of dietary proteins. In: MUMO, H.N., ALLISON, J. B.eds. *Mammalian protein metabolism*. New York: Academic Press, 1964. v.2, p. 45.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. *Approved methods*. 8. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1983.
- AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY. *Official and tentative methods*. 3.ed. Chicago: AOCS, 1986. v. 1
- AMERINE, M.A., ROESSLER, E.B. *Wines their sensory evaluation*. New York: W.H.Freiman and Company, 1976. 432 p.
- ANDERSON, R.A., CONWAY, H.F., PFEIFER, V.V. et al. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today*, v. 14, n. 1, p.4-11,1969.
- APPELT, G. Nutritional value and stability of extruded wheat germ products. *Getreid Mehl Brot*, n. 40, p. 176-180, 1986.
- ASP, N-G. Nutritional Aspects. What happens to the different materials at different temperatures? In: O'CONNOR, C. ed. *Extrusion technology for the food industry*. London: Elsevier Applied Science, 1986. p. 16-21.
- 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.
- ASSOCIATION OF VITAMIN CHEMISTS, *Metodos de Analises de vitaminas*; trad. por M. Soledad, G. Chamarro e C.F. Heredia. 3.ed. León: Editorial Academia, 1966. 396 p.
- ATTIA, F., CREEK, R.D. Studies on raw and heated wheat germ for young chicks. *Cer. Chem.* v. 42, p. 494-497, 1965.
- BARNES, J.P. Composition of cereal germ preparations. *Z. Lebenm Unters Forsch*, n.174 p. 467-471, 1982
- BARNES, P. The heart of the wheat. *Nutr. Food Sci.*, v. 62, p. 2-4, 1980.
- BEAUFRAND, M.J., de la GUÉRIVIÈRE, J.F., MONNIER, C. et al. Influence du procédé de cuisson extrusion sur la disponibilité des proteines. *Ann. Nutr. Aliment.* v. 32, p. 353-364, 1978.

- BEETNER, G., TSAO, I.F., FREY, A., et al. Degradation of thiamine and riboflavin during extrusion processing. *J. Food Sci.*, v. 39, p. 207-209, 1974.
- BEETNER, G., TSAO, T., FREY, A., et al. Stability of thiamine and riboflavin during extrusion processing of triticale. *J. Milk Food Technol.*, v. 39, n. 4, p. 244-245 1976.
- BENDER, A.E., DOELL, B.H. Note on the determination of net protein utilization by carcass analysis. *Brit. J. Nutr.*, v. 11, p. 138-144, 1957.
- BJÖRCK, I., ASP, N-G. The effects of extrusion cooking on nutritional value: a literature review. *J. Food Eng.*, v. 2, n. 4, p. 281-308, 1983
- BJÖRCK, I., ASP, N-G. BIRKHED, D., et al. Effects of processing on starch available in vitro and in vivo: extrusion cooking of wheat flours and starch. *J.Cereal Sci.*, n. 2, p. 91-103, 1984.
- BJÖRCK, I., NYMAN, M. PEDERSEN, B. et al. On the digestibility of starch in wheat bread - Studies in vitro and in vivo. *J. Cereal Sci.*, v. 4, p. 1-11, 1986.
- BOX, G.E.P., WILSON, K.B. On the experimental attainment of optimum condition. *J. Royal Stat.*, n. 13, p. 1-45, 1951.
- CALHOUN, W.K., HEPBURN, F.N. BRADLEY, W.B. The distribution of vitamins of wheat in commercial mill products. *Cereal Chem.*, v. 37, p. 755, 1960.
- CHANG, Y.K. *Efeito da concentração de ácido, umidade e temperatura na hidrólise de amido de mandioca por extrusão termoplástica, visando a produção de álcool.* 183p. Campinas, 1989. Tese (Doutorado) - FEA/UNICAMP.
- CHEFTEL, J.C. Extrusion cooking and food safety. In: MERCIER, C., LINKO, P., HARPER, J.M. eds. *Extrusion cooking*. St. Paul: AACC, 1989, p. 436-464.
- CHIANG, B.Y., JOHNSON, J.A. Gelatinization of the starch in extruded products. *Cereal chem.*, v. 54, n. 3, p. 436-443, 1977.
- COCHRAN, W.G., COX, G.M. *Experimental Designs*. 2.ed. New York: John Wiley, 1964. p. 335-370
- COLONNA, P., DOUBLER, J.L., MELCION, J.P. et al. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. *Cereal Chem.*, v. 61 n. 6, p. 538-543, 1984.

- CREEK, R.D., VASAITIS, V. Detection of an antiproteolytic substance in row wheat germ. *Poult. Sci.*, v. 41, p.1351.1962.
- DeLORT-LAVAL, J., MERCIER, C. Selection of treatments and study of their influence on the carbohydrate fraction of wheat, barley and maize. *Ann. Zootech.* v. 25, n.1 p. 3-12, 1976.
- DAMASIO, M.H., COSTELL, E. Análises sensorial descriptivo: generación de descriptores y selección de catadores. *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.*, v. 31, p. 102-165, 1991.
- DeMAN, J. M., TIE, F., DeMAN, L. Formacion of short chain volatile organic acids in the automated AOM method. *J. Am. Chem. Soc.* v. 64, n. 7, p. 993-996,1987.
- DRAPER, N.R., SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York: John Wiley, 1966, 407 p.
- DUBAIS, M., GILLES, K.A., HAMILTON, J.K. et al. Colorimetric methods of determination of sugars and seleted substances. *Anal. Chem.*, v, 28, p. 350, 1956
- EERIKÄINEN, T. LINKO, P. Extrusion cooking modeling, control and optimization. In: MERCIER, C., LINKO, P., HARPER, J.M. eds. *Extrusion cooking*, St. Paul: AACC, 1989, p. 157-204.
- EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y., MUNCH, L. eds. *International Symposium of Cereal: a renewable resource, theory and practice*. St. Paul: AACC, 1982, 728 p.
- EL-DASH, A.A., GONZALES, R., CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. *J. of Food Engineering*, v. 2, p. 129-152, 1983.
- FARREL, E.P., WARD, A.B., MILLER, G.D. et al. Extrusion analysis of flours and mill feeds made from mine different wheat mixes. I. Amounts and analysis. *Cereal Chem.*, v. 44, p. 39, 1967.
- FAUBION, J.M., HOSENEY, R.C., SEIB, P.A. Funcionality of grain components in extrusion. *Cereal Foods World*, v. 27, n. 5, p. 212-216, 1982.
- FERREIRA, V. L. P. Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos. *Intruções Técnicas* n.19, 1981.
- FRANKEL, E. N. Volatile lipid oxidation products. *Prog. Lip. Res.* v. 22, n. 1, p. 1-33,1983.

- FRASER, J.R., HOLMES, D.C. Proximate analysis of wheat flour carbohydrates. III. Estimation of the hemicellulose fraction. *J. Sci. Food Agric.*, v. 8, p. 715, 1957.
- FRETZDORF, F.B., SEILER, K. The effects of twin-screw extrusion cooking on cereal enzymes. *J. Cereal Sci.*, v. 5, p. 73-82, 1987
- FRIEDMAN, N. ed. *Protein nutritional quality of foods and feeds*. New York: Marcel Dekker, 1975. v. 1, p. 1-2.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. *Balanço e disponibilidade interna de gêneros alimentícios de origem vegetal 1986a1990*. Rio de Janeiro, 1991.
- GARCIA, W. J., GARDNER, H. W., CAVINS, J. F. et al. Composition of air - classified corn and wheat germ flours. *Cereal Chem.*, v. 49, n. 5, p. 499 - 507, 1972.
- GODUNOVA, L.Y., DEMCHUK, A.P., CHUMARCHENKO, N. et al. Utilization of wheat germ in bakery industry. *Pischchevoya. Promyshlennost* n. 4, p. 51-52, 1984.
- GOMEZ, M.H., AGUILERA, J.M. Changes in starch fraction during extrusion - cooking of corn. *J. Food Sci.*, v. 48, p. 378-381, 1983.
- GREWE, E. LeCLERC, J.A. Commercial wheat germ, its composition. *Cereal Chem.*, v. 20, p. 423, 1943
- GUNSTONE, F. D. Reaction of oxygen and unsaturated fatty acids. *J. AM. Oil Chem. Soc.* v. 61, n. 2, p. 441-447, 1984.
- HAGANDER, B. BJÖRCK, I. ASP, N-G. et al. Hormonal and metabolic responses to breakfast meals in NIDDM: Comparison of white and whole-grain wheat bread and corresponding extruded products. *Hum. Nutr. Appl. Nutr.* v. 39A, p. 114-123, 1985
- HÅKANSSON, B., JÄGERSTAD, M., OSTE, R. et al. The effects of various thermal processes on protein quality vitamins and selenium content in whole-grain wheat and white flour. *J. Cereal Sci.*, v. 6, p. 269-282, 1987.
- HALL, C.W. Equilibrium moisture content. In: _____ ed. *Drying farm crops*. Michigan, Agriculture Consulting Associates, cap. 2, p. 17-47, 1957.
- HAMILTON, R.J. The chemistry of rancidity in foods. In: HAMILTON, R.J., ALLEN, J.C. *Rancidity in foods*. London: Applied Sci. Publ. 1983. p. 1-20.

- HARMUTH-HOENE, A. E., SEILER, K., SEIBEL, W. Der Einfluss verschiedener extrusionsbedingungen auf die proteinqualität von sojaschrot und roggenvollkornbrot. *Z. Ernahrungsw*, v. 24, p. 85-95, 1985, Apud 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.
- HARPER, J.M. Food extruders and their applications. In: MERCIER, C., LINKO, P. HARPER, J.M. *Extrusion cooking*. St. Paul: AACC, 1989, p. 1-16.
- HARPER, J.M., STONE, M.L., TRIBELHORN, R.E. et al. Evaluation of low-cost extrusion cookers for use in LDCS. *LEC Report 2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado* (1977). Apud: BJÖRCK, I. ASP, N-G. The effects on extrusion cooking on nutritional value. A literature review. *J. of Food Engeneering*, v.2, n. 4, 281-308, 1983.
- HARTMAN, L., LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab. Pract.*, v. 22, n. 8, p. 475-476, 1973.
- HOLM, J., BJÖRCK, I., OSTROWSKA, S. et al. Digestibility of amylose lipid complexes in vitro and in vivo. *Stærke*, v. 35, p. 294-297, 1983
- HOVE, E.L., HARREL, C.G. The nutritive value of wheat germ protein. *Cereal Chem.*, v. 20, p. 142, 1943.
- HOVE, E.L., CARPENTER, L.E., HARREL, C.G. The nutritive value of some plant protein and the supplemented effect of some protein concentration on patent flour and whole wheat. *Cereal Chem.*, v. 22, p. 287, 1945.
- HULLETT, E.W., STERN, R. Biological elimination of glutathione from wheat germ and flours used in bread making. *Cereal Chem.*, v. 18, p. 561, 1941.
- HURREL, R.F., CARPENTER, K.J. Maillard reaction in foods. In: *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*. HOYEM, T., KVÅLE, O. eds. London: Applied Science. 1977. p. 168-184.
- JANSSEN, M.B.P.L. Engineering aspects of food extrusion. In: MERCIER, C., LINKO, P. HARPER, J.M. eds. *Extrusion cooking*. St. Paul: AACC, 1989. p. 17-38.
- JANSSEN, G.R., STONE, M., TRIBELHORN, R. et al. Retention of vitamins in a low-cost extruder cooker. *Fed. Proc.*, v. 37, p. 672, 1978.

- JONES, O.B., WIDNESS, K.D. The comparative growth promoting value of the processing of wheat germ, corn germ and some other protein foods of plant and animal origin. *J. Nutr.* v. 31, p.675, 1946.
- KENT-JONES, D.W., AMOS, A.J. *Modern Cereal Chemistry Food.* 6.ed. London: Trade Press, 1967, 730 p.
- KIM, C.J., BYUN, S.N., CHEIGH, H. et al. Optimization of extrusion rice bran stabilization process. *J. Food Sci.*, v. 52, p. 1355-1357, 1366, 1987.
- KUMAR, G.V., VERGHESSE, T.E., RAO, P.H. et al. Effects of heat germ. *J. Food Sci Technol. India*, v. 17, n. 6, p. 256-258, 1980
- LILLARD, D.A. Effect of processing on chemical and nutritional changes in food lipids. *J. Food Protect.* v. 46, n. 1, p. 61-67, 1983.
- LINKO, Y.Y., VOURINEN, V., OLKKU, J. et al. The effect of HTST-extrusion on retention of cereal amylase activity and on enzymatic hydrolysis of barley starch. In: LINKO, P., LARINKARI, J. eds. *Food Process Engineering.* London: Applied Science Publishers 1980, v. 2, p. 210-223
- LUSENA, C.V., McFARLANE, W.D. Studies on the processing of wheat germ. *Can. J. of Biochem.*, v. 23, p. 201, 1945
- MAGA, J.A. Cis-trans fatty acid ratios as influenced by product and temperature of extrusion cooking. *Lebensm. Wiss. Tehnol.*, v. 11, p. 183-184, 1978.
- O'MAHONY, M. *Sensory Evaluation of Food.* New York: Marcel Dekker, 1986, 487 p.
- MEHLENBACHER, V.C. *The analysis of fat and oils.* Champaign. The Garrard Press. 1960. 615 p.
- MERCIER, C., FEILLET, P. Modification of carbohydrates components by extrusion - cooking of cereal products. *Cereal Chem.*, v. 52, n. 3, p. 283-297, 1975.
- MEUSER, von F., LENGERICH, B.V., KOHLER, F. The influence of extrusion parameters on the functional properties of wheat starch. *Starch/Stärke*, v. 34, n. 11, p. 366-372, 1982.
- MORAN, E.T.Jr., SUMMERS, J.D., BASS, E.J. Heat processing of wheat germ meal and its effect on utilization and protein quality for the growing chick: toasting and autoclaving. *Cereal Chem.*, v. 45, n. 4, p. 304, 1968.

- MORUZZI, G., VIVIANI, R., SECHI, A.M. et al. Studies on compounds and individual lipids of wheat germ. *J. Food Sci.*, v. 34, p. 581, 1969.
- de MUELLENARE, H.J.H., BUZZARD, J.C. Cooker extruders in service of world feeding. *Food Technol.*, v. 23, p. 71-77, 1969.
- MUSTAKAS, C., ALBRECHT, W.J., BOOKWALTER, G.N. et al. Extruder processing to improve nutritional quality flavour and keeping quality of full-fat soy flour *Food Technol.*, v. 24, p. 1290- 1296, 1970.
- NELSON, J.H., GLASS, R.L., GEDDES, W.F. The triglycerides and fatty acids of wheat. *Cereal Chem.*, v. 40, p. 343, 1963.
- NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi-methods for determination of glucose. *J. Biol. Chem.*, v. 153, p. 375-372, 1944.
- NICOLA, J., AUTRAN, M., DRAPRON, R. Purification and some properties of wheat germ lipoxigenase. *J. Sci. Food Agric.*, v. 33, p. 365-372, 1982.
- NOGUCHI, A., MOSSO, K., AYMARO, C. et al. Maillard reaction during extrusion cooking of protein-enriched biscuits. *Lebensm. Wiss. Technol.*, v. 15, n. 2, p.105-110,1982.
- OLKKU, J., HASSINEN, H., ANTILA, J. et al. Prozeßdynamik und Automatisierung der Hochtemperatur-Kurzzeit-Extrusion. *Getreid Mehl und Brot* n. 2, p. 46-52, 1980.
- OLSEN, E.M. Effect of heat treatment on the quality and utilization by the rat of protein in wheat germ meal. *Can. J. Biochem.*, v. 45, p. 1673, 1967,
- OWUSU-ANSAH, J. van de VOORT, F.R., STANLEY, D.W. Physicochemical changes in corn starch as a function of extrusion. *Cereal Chem.*, v. 60, n. 4, p. 319-324, 1983.
- PAG PROTEIN ADVISORY GROUP OF THE UNITED NATIONS SYSTEMS. Guide-lines on protein rich mixtures for use as weaning foods studies n^o 8. FAO/WHO/UNICEF. New York United Nations, 1971.
- PHAM, C.B., DEL ROSARIO, R.R. Studies on the development of texturized vegetable products by the extrusion process. II. Effects of extrusion variables on the available lysine total and reducing sugars. *J. Food Technol.*,v. 19, p. 549-559,1984
- POMERANZ, Y., CARVAJAL, M.J., SHOGREN, M.D. et al. Wheat germ in breadmaking. I. Composition of germ lipids and germ protein fraction. *Cereal Chem.*, v. 47, p. 373-380, 1970a.

- POMERANZ, Y., CARVAJAL, M.J., SHOGREN, M.D. et al. Wheat germ in breadmaking. II. Improving breadmaking properties by physical and chemical methods. *Cereal Chem.*, v. 47, p. 429-437, 1970b.
- PROCHZKA, M., PRIHODOVA, J. Utilization of wheat germ food material I. *Mlynsko-Perakensky Prumysl* v. 24, n. 4, p. 139-142, 1978.
- RANGA RAO, G.C.P., RAO, P.H., KUMAR, G.V. et al. Utilization of wheat germ in the preparations of bread and biscuits. *J. Food Sci. Tech.*, v. 17, p. 171-175, 1980.
- RAO, P.H., KUMAR, G.V., RANGA RAO, G.C.P. et al. Studies of stabilization of wheat germ. *Leensm. will Technol.*, v. 13, n. 6, p. 302-307, 1980.
- RESPONSE SURFACE METHODOLOGY REVISITED. In *Annual Meeting*. New Orleans: AACC, 1976.
- ROGERS, Q.R., HARPER, A.E. Aminoacid diets and maximal growth in the rat. *J. Nutr.*, v. 87, p. 267-273, 1965.
- ROSSEN, J.L., MILLER, R.C. Food Extrusion. *Food Technol.*, v. 27, n. 8, p. 46-53, 1973
- ROTHER, M. Veber ein neues stabilisierungsverfahren für weizenkeime. *Nahrung*, v. 7, p. 579, 1963.
- ROTHER, M., STOECKEL, J.T. Zur qualitätsbeurteilung von weizenkeimen. II. Haltbarkeit. *Getrud Mehl und Technologie*, v. 6, p. 310, 1962.
- ROTHER, M., WOELM, G., VOIGT, I. Fat changes in cereal products and their analytical demonstration. I. Rancidity. *Nahrung*, v. 11, p. 149, 1967. *Chem. Abstr.* v. 67, 42683p (1967).
- SCHLUDE, M. The stability of vitamins in extrusion cooking. In: O'CONNOR, C. ed. *Extrusion technology for the food industry*. Essex: Elsevier Applied Science, 1987. p. 22-34.
- SCHMITT, J.H. Composition and nutritive value of wheat germ protein. *Mühlet Mischfuttertechnik*, v. 110, n. 33, p. 524-525, 1973.
- SCHWEIZER, T.F., REIMANN, S., SOLMS, J. et al. Influence of drum - drying and twin-screw extrusion cooking on wheat carbohydrates. II. Effects of lipids on physical properties, degradation and complex formation of starch in wheat flour. *J. Cereal Sci.*, v. 4, p. 249-260, 1986.

- SINGER, T.P., HOFSTEE, B.H.J. Studies on wheat germ lipase II. Kinetics. *Arch. Biochem.* v. 18, p. 244-259, 1948.
- SHURPALEKAR, S.R., RAO, P.H. Wheat germ. *Advances in food Research*, v. 23, p.187-304, 1977.
- SOMOGYI, M. A new reagent for the determination of sugars. *J. Biol. Chem.*, v. 160, p. 61-68, 1945.
- SPARCKMAN, O.H., SETEIN, W.H., MOORE, S. Automatic recording apparatus for use in the cromatography of aminoacids. *Analytical Chemistry*, v. 30, p. 1190-1206, 1958.
- SREBERNICH, S.M. *Efeito da umidade, temperatura, velocidade do parafuso e diametro da matriz nas características do amido de sorgo submetido a extrusão termoplástica.* 107 p. Campinas, 1989. Tese (Mestrado), FEA/UNICAMP.
- SULLIVAN, B., BAILEY, C.H. The lipids of the wheat embryo. I. The fatty acids. *J. Am. Chem. Soc.*, v. 58, p. 383, 1936.
- SUMMERS, J.D., SLINGER, S.J., PEPPER, W.F. et al. Biological evaluation of selected wheat fractions from nine different wheat samples for energy and protein quality. *Poultry Science*, v. 47, p. 1753, 1968.
- VAN de KRAME, GINKEL, V. Rapid determination of grude fiber in cereals. *Cereal Chemistry*, v. 19, n. 4, p. 239-251, 1952.
- VITI, P. LEITÃO, R.F.F., ARIMA, H.K. Germe de trigo em pão. *Bol. Ital.* n. 16(1) p. 91-98, 1979.
- YAKOVENKO, A.V. Activity of lipoxidase during rancidity development of germ flakes. *Tr. Odessk Tekhnol. Inst.* 11.31, 1961; *Chem. Abst.* 59, 10689c (1963). 1961.