



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TESE DE DOUTORADO

**EFEITO DO TEMPO DE GERMINAÇÃO DO TRIGO
E DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO NA QUALIDADE
TECNOLÓGICA E NUTRICIONAL DE FARINHA INTEGRAL**

Martha Z. de Miranda

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
ORIENTADOR

Campinas - SP
1998

Martha Zavariz de Miranda

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por MARTHA ZAVARIZ DE MIRANDA aprovada pela Comissão Julgadora em 10 de novembro de 1998.

Campinas, 10 de novembro de 1998


Prof. Dr. AHMED ATIA EL-DASCH
Presidente da Banca

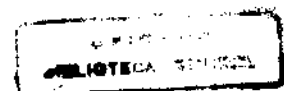
**EFEITO DO TEMPO DE GERMINAÇÃO DO TRIGO
E DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO NA QUALIDADE
TECNOLÓGICA E NUTRICIONAL DE FARINHA INTEGRAL**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos
da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos

ORIENTADOR: *Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash*

CAMPINAS

1998



9824060

UNIDADE	28
N.º CHAMADA:	
V.	Ex.
TOMO	BC/36032
PROC	395/98
C	0 ☒
PREÇO	R\$ 11,00
Data	17/12/98
N.º CPD	

CM-00119574-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

M672e

Miranda, Martha Zavariz de
Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral / Martha Zavariz de Miranda. – Campinas, SP: [s.n.], 1998.

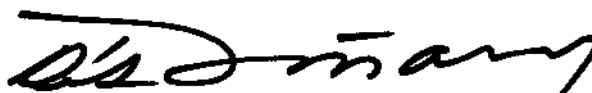
Orientador: Ahmed Atia El-Dash
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Germinação. 2.Extrusão. 3.Nutrição – Qualidade.
4.Tecnologia – Qualidade. 5.Farinhas. I.El-Dash, Ahmed Atia. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

BANCA EXAMINADORA



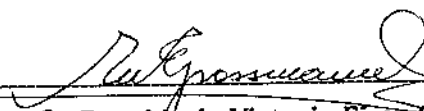
Prof. Dr. Ahmed Atia El-Dash
Universidade Estadual de Campinas
Orientador



Profa. Dra. Débora de Queiroz Tavares
Universidade Estadual de Campinas
Membro



Profa. Dra. Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici
Universidade Bandeirante
Membro



Profa. Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann
Universidade Estadual de Londrina
Membro



Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Universidade Estadual de Campinas
Membro

Profa. Dra. Erna Vogt de Yong
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Membro

Profa. Dra. Marisa de Nazaré Hoelz Jackix
Universidade Estadual de Campinas
Membro

Campinas, de novembro de 1998.

Dedico este trabalho à todos aqueles que:

Cultivam a GENEROSIDADE:

♦ Plantam pelo simples prazer de ver as sementes germinando,
as folhas purificando o ar, as flores colorindo o mundo ...

Cultivam a SABEDORIA:

♦ Todos somos responsáveis pelo eterno fluir cósmico.
O conhecimento dos Mestres nos proporcionam atalhos
para que possamos conduzir a humanidade cada vez mais longe
através das trilhas inesgotáveis do saber.

"Ao nascer, o homem é suave e flexível;
Na sua morte, é duro e rígido.
Plantas verdes são tenras e úmidas;
Na sua morte, são murchas e secas.
Um arco rígido não vence o combate.
Uma árvore que não se curva, quebra.
O duro e o rígido tombarão.
O suave e o flexível sobreviverão."

LAO TSÉ

Tao Te Ching, verso 76

Esta pesquisa contou com apoio financeiro da
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
(FAPESP) através de auxílio-pesquisa, Processo nº 1996/3496-0;

A bolsa de estudos foi concedida pelo Conselho Nacional de Pesquisa e
Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) e o auxílio-ponte pela Pró-Reitoria de
Pesquisa (PRP-UNICAMP), através do Fundo de Apoio ao Ensino e à Pesquisa (FAEP);

A maior parte desta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Cereais, do Departamento
de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA-UNICAMP).

AGRADECIMENTOS

A nossa formação profissional é obtida da vivência, da discussão, das diferenças de idéias.

As pessoas com as quais nos deparamos nos ensinam, quer no profissional, quer no pessoal. Assim, agradecemos a todos os que, direta ou indiretamente, nos propiciaram este crescimento. Tentando fazer jus a estas pessoas (sabemos de antemão que podemos esquecer alguém), escrevemos seus nomes para que fiquem gravados neste trabalho, com nossa gratidão.

- ♦ De modo especial, agradeço ao Prof. Dr. Ahmed Atia M. El-Dash, cuja orientação e experiência científica, tornaram possível a realização desta pesquisa, e em particular pela oportunidade e amizade;
- ♦ À Profa. Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann, pela amizade, inestimável assistência e valiosas sugestões no decorrer desta pesquisa, apesar da distância;
- ♦ À todos os Professores e Pesquisadores, cuja experiência e colaboração foram preciosos durante o desenvolvimento desta pesquisa, em especial ao Prof. Dr. Yoon Kil Chang e Profa. Dra. Marisa Jackix, pelas sugestões no exame de qualificação;
- ♦ Ao Prof. Dr. Roy Edward Bruns, do Instituto de Química e Prof. Dr. Ademir Patenatti, do Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (IMECC) da UNICAMP, pelo auxílio na parte estatística;
- ♦ Ao Dr. Rui Rosinha e Dr. Nilton Busatto, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Serviço de Produção de Sementes Básicas (Embrapa-SPSB) de Passo Fundo, pela doação das sementes de trigo;
- ♦ À Pesquisadora Flávia Rodrigues Alves Patrício, do Laboratório Central de Sementes, da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (CATI-SEAGESP), pela orientação no teste de sanidade e correção desta parte da Tese;
- ♦ Ao Prof. Dr. Sylvio Luís Honório, do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agropecuários, da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI-UNICAMP), pela autorização do uso do Laboratório de Análise de Sementes para fase de germinação do trigo e à Rosa Helena Aguiar, pela amizade e auxílio nos testes;
- ♦ À Profa. Dra. Débora de Queiroz Tavares e Iara Honório, do DEPAN-FEA, pela realização da análise microscópica e pela amizade;
- ♦ À Profa. Dra. Lireny Gonçalves, do Laboratório de Óleos e Gorduras do DTA-FEA, pela concessão das análises de composição em ácidos graxos e a Rosana pelo auxílio nas análises;
- ♦ Ao Prof. Dr. Carlos Grosso, do Laboratório Central do DEPAN-FEA, pela concessão do uso da bomba calorimétrica e ao Francisco pelo auxílio nas análises;
- ♦ Ao Prof. Boaventura Freire dos Reis, da Seção de Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), pela concessão das análises de minerais e a Iolanda por executá-las;
- ♦ Ao Dr. Esdras Sundfeld, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos (Embrapa-CTAA), pela concessão das análises de vitaminas e ao Marcelo por executá-las;
- ♦ À Profa. Dra. Ursula Lanfer Marques, do Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual de São Paulo (FCF-USP), pela concessão das análises de aminoácidos e a Rosa Maria Cerdeira de Barros, pela colaboração nas análises;
- ♦ Aos funcionários da FEA-UNICAMP: Ana Koon, Mara, Judite, Cláudia, Ana Lourdes, Alice, Ana Maria, Ari, Soeli, Liana, Suzi, Cosme, Marçal, Henrique, Zezé, Fátima, Edinho, Sr. Douglas, Aracilda e Valdeci, e ao pessoal da biblioteca da FEA: Marli, Geraldo, Creuza e Cláudia, pela cordialidade e disposição em ajudar;
- ♦ À Elena, Sr. José, Kelly, Karla, Daniel, Ana Carrasco, pela colaboração, paciência e amizade durante a fase de trabalho no Laboratório de Cereais e em especial ao Sr. Nilo Marques pela ajuda na etapa de extrusão;
- ♦ Ao pessoal ligado ao Laboratório de Cereais: Alexandra, Myriam, Leonard, Stefan, Crispy, Andréia, Pedro, Vânia, Cidoca, Abel, Mirco, André, Geórgia, Franz, Dora, Patrícia, Joaquim, Miguel, Beth, Jorge, Eliana, Carolina, Fernando e Hector, pela amizade e bons momentos de convivência;
- ♦ Aos amigos que trouxeram alegria e conforto em diversos momentos, em especial: Marcinha, Neuzinha, Andrea Mara, Cida, Maria Sebastiana, Cris, Mara, Ivone e Dudu, Ruth, Ana Cecília, Gersislei, Maria Eugênia, Genoveva, Janice, José Ricardo, Mara Rúbia, Marisa, Lília, Lúcia, Mauro, Suzana, Flor, Flôrencia, Elisa e Carlos, na ordem aproximada que os conheci;
- ♦ À Erna Vogt de Jong, Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici, Luiz Carlos Gutkoski, Márcia de Lourdes Pereira de Francischi, Francy Zambrano e Manuel Plata, pela colaboração técnica e amizade incondicionais, sem as quais não teria superado as diversas dificuldades experimentadas durante a realização desta pesquisa;
- ♦ À minha família e em especial aos meus maravilhosos pais, ao Rogério e a Miriane, que mesmo longe sempre fizeram-se presentes dando carinho, incentivo e apoio, e ao meu sobrinho-afilhado Bruno por me "iluminar";
- ♦ Aos Professores Membros da Banca Examinadora, que emprestaram sua qualificação para a revisão e discussão desta Tese, aperfeiçoando-a de maneira expressiva.

A AUTORA.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. O TRIGO.....	3
2.1.1. <i>Cultura e Produção</i>	3
2.1.2. <i>Estrutura e Composição Química</i>	3
2.2. GERMINAÇÃO.....	4
2.2.1. <i>O Fenômeno da Germinação</i>	4
2.2.1.1. Terminologias	4
2.2.1.2. Definição	5
2.2.1.3. Metabolismo e fases do processo germinativo	5
2.2.1.4. Métodos de germinação.....	8
2.2.2. <i>Efeito da Germinação na Composição Química e na Qualidade Nutricional</i>	10
2.2.2.1. Carboidratos.....	10
2.2.2.2. Proteínas.....	11
2.2.2.3. Lipídios e estabilidade ao armazenamento.....	16
2.2.2.4. Cinzas e minerais	18
2.2.2.5. Vitaminas	19
2.2.2.6. Outros constituintes.....	20
2.2.4. <i>Efeito da Germinação na Qualidade Tecnológica</i>	21
2.2.5. <i>Farinha Integral de Trigo Germinado (FITG)</i>	25
2.3. EXTRUSÃO	26
2.3.1. <i>O Processo de Extrusão</i>	26
2.3.2. <i>Efeito da Extrusão na Composição Química e na Qualidade Nutricional</i>	28
2.3.2.1. Amido.....	29
2.3.2.2. Proteínas.....	30
2.3.2.3. Lipídios	31
2.3.2.4. Outros constituintes.....	32
2.3.3. <i>Efeito da Extrusão na Qualidade Tecnológica</i>	33
2.3.4. <i>Extrusão de Farinhas de Trigo</i>	35
2.3.4.1. Extrusão de farinha de trigo germinado	36
2.4. MODELAGEM DE EXPERIMENTOS	37
2.5. METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (MSR)	38
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1. MATERIAL	40
3.1.1. <i>Matéria-prima</i>	40
3.1.2. <i>Reagentes</i>	40
3.1.3. <i>Equipamentos</i>	41
3.2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS	42
3.2.1. <i>Determinação da Qualidade do Trigo</i>	43
3.2.1.1. Teste padrão de germinação.....	43
3.2.1.2. Teste de sanidade	43
3.2.2. <i>Processo de Germinação</i>	44
3.2.2.1. Determinação do tempo ideal de maceração do trigo.....	44
3.2.2.2. Produção de farinha integral de trigo germinado (FITG)	44

3.2.3. Processo de Extrusão	45
3.2.3.1. Equipamento.....	45
3.2.3.2. Condicionamento do material para extrusão	46
3.2.3.3. Testes preliminares.....	46
3.2.3.4. Produção de farinha integral extrusada de trigo germinado (FIETG).....	47
3.2.4. Delineamento Experimental.....	47
3.3. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	50
3.3.1. Granulometria.....	50
3.3.1.1. Diâmetro médio de partícula.....	50
3.3.2. Composição Centesimal	50
3.3.3. Microscopia.....	51
3.3.3.1. Microscopia óptica.....	51
3.3.3.2. Microscopia eletrônica de varredura.....	51
3.3.4. Energia	51
3.3.4.1. Energia bruta.....	51
3.3.4.2. Energia metabolizável	52
3.3.5. Açúcares	52
3.3.5.1. Extração dos açúcares.....	52
3.3.5.2. Açúcares redutores	52
3.3.5.3. Açúcares totais.....	52
3.3.6. Fibra Alimentar.....	52
3.3.7. Fitato.....	53
3.3.8. Vitaminas B ₁ , B ₂ , B ₆	53
3.3.9. Minerais.....	54
3.3.10. Composição em Ácidos Graxos.....	54
3.3.11. Composição em Aminoácidos	55
3.3.12. Lisina Disponível.....	55
3.3.13. Digestibilidade Protéica "In Vitro"	56
3.3.14. Escore Químico.....	56
3.3.15. Digestibilidade Protéica corrigida pelo Escore de Aminoácidos (PDCAAS).....	57
3.3.16. Torque.....	57
3.3.17. Expansão Radial dos Extrusados	57
3.3.18. Volume Específico dos Extrusados	57
3.3.19. Dureza dos Extrusados	58
3.3.20. Densidade Aparente	58
3.3.21. Índices de Absorção de Água (IAA) e de Solubilidade em Água (ISA)	58
3.3.22. Falling Number	58
3.3.23. Cor.....	59
3.3.24. Características de Pasta.....	60
3.3.25. Força do Gel	61
3.3.26. Viscosidade a 37°C.....	61
3.3.27. pH.....	62
3.3.28. Acidez Álcool-Solúvel.....	62
3.3.29. Hexanal.....	63
3.4. MÉTODOS ESTATÍSTICOS	64
3.4.1. Análise de Variância	64
3.4.2. Metodologia de Superfície de Resposta.....	64
3.4.3. Correlação.....	67
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1. DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO TRIGO	68
4.1.1. Teste Padrão de Germinação.....	68
4.1.2. Teste de Sanidade.....	68
4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS INTEGRAIS DE TRIGO GERMINADO (FITG).....	69
4.2.1. Granulometria.....	69
4.2.2. Composição Centesimal	70
4.2.3. Caracterização Microscópica.....	72

4.2.4. Caracterização Nutricional	75
4.2.4.1. Valor energético	75
4.2.4.2. Açúcares, fibra alimentar e fitato	76
4.2.4.3. Minerais.....	78
4.2.4.4. Vitaminas	79
4.2.4.5. Composição em ácidos graxos	80
4.2.4.6. Composição em aminoácidos e escore químico.....	81
4.2.4.7. Índices de avaliação "in vitro"	82
4.2.5. Caracterização Tecnológica	84
4.2.5.1. Propriedades físicas.....	84
4.2.5.2. Propriedades funcionais.....	86
4.2.6. Estabilidade ao Armazenamento.....	88
4.2.6.1. pH	88
4.2.6.2. Acidez álcool-solúvel	89
4.2.6.3. Hexanal	90
4.2.7. Correlação entre características químicas, nutricionais, tecnológicas e estabilidade das FITG	91
4.3. EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NO TORQUE E NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS EXTRUSADOS DE FARINHA INTEGRAL DE TRIGO GERMINADO (FITG)	94
4.3.1. Análise Estatística dos Resultados	94
4.3.2. Torque	96
4.3.3. Expansão Radial	97
4.3.4. Volume Específico.....	99
4.3.5. Dureza	100
4.4. EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E NA QUALIDADE NUTRICIONAL DAS FARINHAS INTEGRAIS EXTRUSADAS DE TRIGO GERMINADO (FIETG).....	101
4.4.1. Análise Estatística dos Resultados	101
4.4.2. Composição Centesimal	108
4.4.3. Açúcares Redutores e Totais.....	111
4.4.4. Minerais.....	112
4.4.5. Composição em Aminoácidos e Escore Químico	113
4.4.6. Índices de Avaliação "In Vitro"	118
4.5. EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DAS FARINHAS INTEGRAIS EXTRUSADAS DE TRIGO GERMINADO (FIETG).....	121
4.5.1. Análise Estatística dos Resultados	121
4.5.2. Densidade Aparente	127
4.5.3. Índices de Absorção de Água (IAA) e de Solubilidade em Água (ISA)	129
4.5.4. Cor	131
4.5.5. Características de Pasta.....	134
4.5.4. Força do Gel.....	137
4.5.5. Viscosidade a 37°C.....	139
4.6. EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NA ESTABILIDADE AO ARMAZENAMENTO DAS FARINHAS INTEGRAIS EXTRUSADAS DE TRIGO GERMINADO (FIETG)	140
4.6.1. Análise Estatística dos Resultados	140
4.6.2. pH.....	143
4.6.3. Acidez Álcool-Solúvel.....	145
4.6.4. Hexanal.....	147
4.7. CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, NUTRICIONAIS, TECNOLÓGICAS E DE ESTABILIDADE DAS FIETG	150
5. CONCLUSÕES.....	153
ANEXOS	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	204

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Semente de trigo germinando.....	5
FIGURA 2. Fases da germinação de sementes em função do teor de umidade.....	6
FIGURA 3. Observação do desenvolvimento de farinha de trigo na zona de cozimento	28
FIGURA 4. Fluxograma de produção de farinha integral extrusada de trigo germinado (FIETG)	42
FIGURA 5. Efeito do tempo de maceração sobre o conteúdo de umidade do trigo	44
FIGURA 6. Modelo central composto rotacional para 3 fatores	48
FIGURA 7. Representação de cor	59
FIGURA 8. Curva de pasta típica do RVA mostrando alguns parâmetros de medida utilizados para caracterizar as propriedades da amostra.....	61
FIGURA 9. Tipos de superfície de resposta geradas por uma equação de segunda ordem.....	65
FIGURA 10. Micrografias ópticas sob luz normal.....	72
FIGURA 11. Micrografias ópticas sob luz polarizada.....	73
FIGURA 12. Micrografias eletrônicas de varredura (MEV).....	74
FIGURA 13. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade das FITG no torque	96
FIGURA 14. Características dos extrusados em diferentes condições experimentais	97
FIGURA 15. Efeito da temperatura de extrusão e do tempo de germinação na expansão dos extrusados.....	98
FIGURA 16. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no volume específico dos extrusados.....	99
FIGURA 17. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no conteúdo de proteína das FIETG	108
FIGURA 18. Efeito da umidade e do tempo de germinação do trigo nos lipídios das FIETG.....	109
FIGURA 19. Efeito da temperatura de extrusão e do tempo de germinação no teor de carboidratos.....	110
FIGURA 20. Efeito da temperatura de extrusão e do tempo de germinação nos açúcares redutores	111
FIGURA 21. Efeito da temperatura de extrusão e do tempo de germinação no teor de açúcares totais	111
FIGURA 22. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade da farinha no magnésio das FIETG	112
FIGURA 23. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade da farinha no teor de cobre das FIETG.....	113
FIGURA 24. Efeito das variáveis independentes no teor de aminoácidos das FIETG	115
FIGURA 25. Efeito da umidade e temperatura no teor de aminoácidos e escore químico das FIETG	117
FIGURA 26. Efeito das variáveis independentes nos índices de avaliação “in vitro” das FIETG	120
FIGURA 27. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na densidade aparente das FIETG	128
FIGURA 28. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no IAA das FIETG	129
FIGURA 29. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no ISA das FIETG.....	130
FIGURA 30. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na luminosidade (L*) das FIETG	131
FIGURA 31. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na coordenada de cromaticidade a*	132
FIGURA 32. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na coordenada de cromaticidade b*.....	133
FIGURA 33. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na diferença de cor (ΔE^*) das FIETG.....	133
FIGURA 34. Efeito do tempo de germinação e da temperatura no tempo de viscosidade máxima	135
FIGURA 35. Efeito do tempo de germinação e da temperatura na visc. mínima à temperatura constante.....	136
FIGURA 36. Efeito do tempo de germinação do trigo e da temperatura de extrusão na viscosidade final	137
FIGURA 37. Efeito do tempo de germinação do trigo e da temperatura de extrusão na força do gel.....	138
FIGURA 38. Efeito do tempo de germinação e da temperatura de extrusão na viscosidade a 37°C	139
FIGURA 39. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no pH das FIETG	144
FIGURA 40. Efeito do tempo de germinação e da temperatura de extrusão na acidez das FIETG.....	146
FIGURA 41. Efeito do tempo de germinação e da umidade no teor de hexanal das FIETG	148
FIGURA 42. Efeito da umidade e da temperatura de extrusão no teor de hexanal das FIETG.....	149

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Germinação do trigo: pré-tratamentos, maceração, germinação e secagem, segundo diferentes autores	9
TABELA 2. Efeitos da extrusão termoplástica	28
TABELA 3. Variáveis e níveis de variação	48
TABELA 4. Delineamento experimental para as 3 variáveis independentes	49
TABELA 5. Perfil utilizado para determinação dos parâmetros de viscosidade	60
TABELA 6. Perfil utilizado para determinação de viscosidade a 37 °C	62
TABELA 7. Material retido, módulo de finura e diâmetro médio de partícula de FITG	69
TABELA 8. Composição centesimal aproximada de farinhas integrais de trigo.....	70
TABELA 9. Estimativa do valor energético de farinhas integrais de trigo germinado.....	76
TABELA 10. Teores de açúcares totais e redutores, fibra alimentar e fitato de FITG	77
TABELA 11. Teores de macro e microelementos de farinhas integrais de trigo germinado	78
TABELA 12. Teores de vitaminas B ₁ , B ₂ e B ₆ das farinhas integrais de trigo germinado.....	79
TABELA 13. Composição em ácidos graxos das farinhas integrais de trigo germinado.....	80
TABELA 14. Composição em aminoácidos e escore químico das proteínas de farinhas integrais de trigo germinado e perfil de aminoácidos essenciais para uma proteína ideal, segundo recomendações da FAO/WHO/UNU (1985) para pré-escolares de 2 a 5 anos de idade	81
TABELA 15. Teores de lisina total, lisina disponível, digestibilidade “in vitro” e digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos (PDCAAS) calculada através da digestibilidade verdadeira e digestibilidade “in vitro” de FITG	83
TABELA 16. Propriedades físicas avaliadas nas farinhas integrais de trigo germinado.....	84
TABELA 17. Propriedades funcionais avaliadas nas farinhas integrais de trigo germinado	86
TABELA 18. Variação do pH de acordo com o tempo armazenamento das FITG.....	88
TABELA 19. Variação da acidez álcool-solúvel conforme o tempo armazenamento das FITG.....	89
TABELA 20. Variação dos teores de hexanal conforme o tempo armazenamento das FITG.....	90
TABELA 21. Correlação entre composição química, características nutricionais, tecnológicas e de estabilidade ao armazenamento das FITG	92
TABELA 22. Médias dos dados experimentais de torque, expansão, volume específico e dureza	94
TABELA 23. Modelo de regressão e coeficiente de determinação para torque, expansão e volume específico dos extrusados	94
TABELA 24. Médias dos dados experimentais de composição centesimal e de açúcares.....	101
TABELA 25. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação para proteína, lipídios e açúcares das FIETG	102
TABELA 26. Resultados experimentais de minerais (macro e microelementos).....	103
TABELA 27. Modelo de regressão e coeficiente de determinação para minerais.....	103
TABELA 28. Médias dos dados obtidos para composição em aminoácidos e escore químico.....	104
TABELA 29. Modelo de regressão e coeficiente de determinação para composição em aminoácidos e escore químico das FIETG	104
TABELA 30. Média dados experimentais obtidos para os índices de avaliação “in vitro”: lisina disponível, digestibilidade “in vitro” e digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos calculada através da digestibilidade verdadeira e digestibilidade “in vitro” de FIETG.....	106
TABELA 31. Modelo de regressão e coeficiente de determinação para os índices de avaliação “in vitro” das FIETG	106

TABELA 32. Média e desvio padrão dos dados experimentais de densidade aparente, IAA e ISA..... 121

TABELA 33. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação para densidade aparente, IAA e ISA das FIETG..... 121

TABELA 34. Médias e desvio padrão dos dados experimentais de cor 123

TABELA 35. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação para a cor..... 123

TABELA 36. Médias dos dados experimentais das características de pasta das FIETG 124

TABELA 37. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação para as características de pasta das FIETG 125

TABELA 38. Média e desvio padrão dos dados de força do gel e viscosidade a 37°C das FIETG..... 126

TABELA 39. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação para força do gel e viscosidade a 37°C 126

TABELA 40. Resultados experimentais de pH durante o armazenamento das FIETG 140

TABELA 41. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação para o pH..... 140

TABELA 42. Médias dos dados experimentais de acidez álcool-solúvel no armazenamento 141

TABELA 43. Modelo de regressão e coeficiente de determinação para acidez álcool-solúvel 141

TABELA 44. Médias dos dados experimentais dos teores de hexanal durante o armazenamento 142

TABELA 45. Modelo de regressão e coeficiente de determinação para hexanal 143

TABELA 46. Correlação entre composição química, características nutricionais, tecnológicas e de estabilidade ao armazenamento das FIETG..... 151

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1A.	Curva de calibração do hexanal.	157
ANEXO 2A.	PROC ANOVA / TUKEY para os dados experimentais de açúcares de FITG.	158
ANEXO 2B.	PROC RSREG para densidade aparente de FIETG.....	159
ANEXO 2C.	PROC GLM para os termos significativos na PROC RSREG para densidade aparente de FIETG.	159
ANEXO 3A.	Ficha de teste de germinação realizado na FEAGRI-UNICAMP.	160
ANEXO 3B.	Certificado de sementes enviado pela Embrapa-SPSB de Passo Fundo-RS.	161
ANEXO 3C.	Boletim de análise de sementes fornecido pela FEPAGRO.....	162
ANEXO 3D.	Controle individual de lote fornecido pela Embrapa-SPSB.....	163
ANEXO 4A.	Boletim de análise fitopatológica de sementes fornecido pela Embrapa-CNPT.	164
ANEXO 4B.	Ficha de avaliação de sanidade das sementes (CATI-SEAGESP)	164
ANEXO 5A.	Análise de variância das análises de composição centesimal das FITG (comparação de médias-Teste de Tukey)	165
ANEXO 5B.	Análise de variância das análises realizadas para caracterização nutricional das FITG (comparação de médias-Teste de Tukey)	166
ANEXO 5C.	Análise de variância das análises de propriedades físicas das FITG (comparação de médias - Teste de Tukey)	167
ANEXO 5D.	Análise de variância das análises de estabilidade ao armazenamento das FITG (colunas - letras minúsculas, comparação de médias-Teste de Tukey).....	168
ANEXO 5E.	Análise de variância das análises de estabilidade ao armazenamento das FITG: acidez álcool-solúvel (linhas – letras maiúsculas, comparação de médias-Teste de Tukey)	169
ANEXO 5F.	Análise de variância das análises de estabilidade ao armazenamento das FITG: hexanal (linhas – letras maiúsculas, comparação de médias-Teste de Tukey).....	169
ANEXO 6A.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para os resultados experimentais de torque	170
ANEXO 6B.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de expansão dos extrusados.....	171
ANEXO 6C.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de volume específico dos extrusados	172
ANEXO 6D.	Modelo de regressão completo, análise de variância e ANOVA modificada para as médias experimentais de dureza dos extrusados.....	172
ANEXO 6E.	Análise de variância da análise de dureza dos extrusados (comparação de médias-Teste de Tukey).....	172
ANEXO 7A.	Análise de variância de cinzas das FIETG (comparação de médias-Teste de Tukey).....	173
ANEXO 7B.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para médias experimentais de proteína das FIETG.....	173
ANEXO 7C.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de lipídios totais das FIETG	174
ANEXO 7D.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de carboidratos das FIETG.....	174
ANEXO 7E.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de açúcares redutores das FIETG	175
ANEXO 7F.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de açúcares totais das FIETG	175

ANEXO 7G.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para os resultados experimentais de magnésio das FIETG	176
ANEXO 7H.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para os resultados experimentais de cobre das FIETG	176
ANEXO 7I.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de composição em aminoácidos (ácido aspártico) das FIETG	177
ANEXO 7J.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de composição em aminoácidos (serina) das FIETG	177
ANEXO 7L.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de composição em aminoácidos (ácido glutâmico) das FIETG	178
ANEXO 7M.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de composição em aminoácidos (prolina) das FIETG	178
ANEXO 7N.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de composição em aminoácidos (glicina) das FIETG	179
ANEXO 7O.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de composição em aminoácidos (cistina) das FIETG	179
ANEXO 7P.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de composição em aminoácidos (leucina) das FIETG	180
ANEXO 7Q.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de composição em aminoácidos (lisina) das FIETG	180
ANEXO 7R.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de escore químico	181
ANEXO 7S.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de lisina disponível das FIETG	182
ANEXO 7T.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de % de disponibilidade de lisina das FIETG	182
ANEXO 7U.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de digestibilidade “in vitro” das FIETG	183
ANEXO 7V.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de PDCAAS1 (digestibilidade protéica corrigida pelo EQ – digestibilidade verdadeira)	184
ANEXO 7X.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de PDCAAS2 (digestibilidade protéica corrigida pelo EQ – digestibilidade “in vitro”)	185
ANEXO 8.	Material retido, módulo de finura e diâmetro médio de partícula das FIETG	185
ANEXO 9A.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de densidade aparente das FIETG	186
ANEXO 9B.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de IAA das FIETG	187
ANEXO 9C.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de ISA das FIETG	188
ANEXO 9D.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de cor (luminosidade – L*) das FIETG	188
ANEXO 9E.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de cor (coordenada de cromaticidade a*)	189
ANEXO 9F.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de cor (coordenada de cromaticidade b*)	190
ANEXO 9G.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de cor (diferença de cor)	190

ANEXO 9H.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias de características de pasta (tempo de viscosidade máxima)	191
ANEXO 9I.	Modelo de regressão completo, análise de variância e ANOVA modificada para as médias experimentais de características de pasta das FIETG (viscosidade máxima)	191
ANEXO 9J.	Análise de variância de tempo de características de pasta das FIETG (viscosidade máxima) - comparação de médias -Teste de Tukey	192
ANEXO 9L.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de características de pasta (viscosidade mínima à temperatura constante)	192
ANEXO 9M.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de características de pasta (viscosidade final)	193
ANEXO 9N.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de força do gel	194
ANEXO 9O.	Análise de variância individual das médias dos dados experimentais de força do gel das FIETG para os 14 experimentos e para as 5 repetições no ponto central	194
ANEXO 9P.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de viscosidade a 37°C das FIETG	195
ANEXO 9Q.	Análise de variância individual das médias dos dados experimentais de viscosidade a 37°C das FIETG para os 14 experimentos e para as 5 repetições no ponto central	195
ANEXO 10A.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de pH – t ₀ (zero meses de armazenamento) das FIETG	196
ANEXO 10B.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para os resultados experimentais de pH – t ₁ (2 meses de armazenamento) das FIETG	197
ANEXO 10C.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para os resultados experimentais de pH – t ₂ (4 meses de armazenamento) das FIETG	198
ANEXO 10D.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para os resultados experimentais de pH – t ₃ (6 meses de armazenamento) das FIETG	199
ANEXO 10E.	Análise de variância de acidez álcool-solúvel – t ₀ (zero meses de armazenamento) das FIETG: comparação de médias pelo Teste de Tukey	200
ANEXO 10F.	Análise de variância de acidez álcool-solúvel – t ₁ (2 meses de armazenamento) das FIETG: comparação de médias pelo Teste de Tukey	200
ANEXO 10G.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de acidez álcool-solúvel – t ₂ (4 meses de armazenamento)	200
ANEXO 10H.	Modelo de regressão completo, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de acidez álcool-solúvel – t ₃ (6 meses de armazenamento)	201
ANEXO 10I.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de HEXANAL – t ₀ (0 meses de armazenamento) das FIETG	202
ANEXO 10J.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de HEXANAL – t ₁ (3 meses de armazenamento) das FIETG	202
ANEXO 10L.	Análise de variância (PROC RSREG) individual das médias dos dados experimentais de HEXANAL (t ₁) para os 14 experimentos e para as 5 repetições no ponto central	203
ANEXO 10M.	Modelo de regressão completo, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de HEXANAL – t ₂ (6 meses de armazenamento) das FIETG	203
ANEXO 10N.	Análise de variância (PROC RSREG) individual das médias dos dados experimentais de HEXANAL (t ₂) para os 14 experimentos e para as 5 repetições no ponto central	203

TESE DE DOUTORADO

Autora: Martha Z. de Miranda

Título: Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral

Orientador: Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash

Departamento de Tecnologia de Alimentos – FEA - UNICAMP

RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é usado principalmente para alimentação humana, na forma de farinhas. Possui tendência a germinação, quando ocorrem chuvas duradouras na época da colheita, sendo então descartado ou utilizado para alimentação animal. O processo de extrusão oferece a possibilidade de usar este trigo germinado, que possui fracas qualidades de panificação.

Assim, este trabalho investigou primeiramente o efeito da germinação do trigo em laboratório nas características de farinha integral de trigo germinado (FITG). As farinhas germinadas tiveram teores significativamente mais altos de proteína e cinzas, valor energético, açúcares, lisina, riboflavina e piridoxina do que a farinha controle, o conteúdo de lipídios permaneceu constante e os conteúdos de carboidratos e tiamina diminuíram. Com base nestes resultados o valor nutritivo da farinha integral foi melhorado pela germinação. O diâmetro médio das partículas, índice de absorção de água (IAA), valores de "Falling Number" e viscosidade máxima diminuíram, enquanto que a cor amarela (b^*) e o índice de solubilidade em água (ISA) aumentaram nas FITG em relação a farinha controle. As FITG foram bastante estáveis ao armazenamento em relação a farinha integral controle, que apresentou altos teores de hexanal.

Em uma segunda abordagem, dezenove tratamentos foram realizados usando um extrusor Brabender de rosca única, de acordo com delineamento central composto rotacional com três variáveis e cinco níveis. As três variáveis independentes foram: tempo de germinação do trigo (32, 48, 72, 96 e 112h), conteúdo de umidade (16, 18, 21, 24 e 26%) e temperatura de extrusão (106, 120, 140, 160 e 174°C). A metodologia de superfície de resposta (MSR) foi usada para estudar o efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral extrusada de trigo germinado (FIETG). Para cada resposta, foi realizada a análise de variância (ANOVA) para determinar as diferenças significativas entre as várias combinações de tratamentos, usando o procedimento de regressão do SAS (RSREG) e após, os modelos foram ajustados pelo procedimento GLM do SAS e construídos gráficos de superfície com o programa STATISTICA.

O conteúdo de umidade e a temperatura de extrusão foram as variáveis que mais influenciaram as propriedades físicas dos extrusados (expansão, volume específico e dureza). Para a composição química e a qualidade nutricional das FIETG, a temperatura afetou os teores de proteína, magnésio, cobre, prolina e glicina, a umidade influenciou o conteúdo de cistina e leucina, enquanto que o tempo de germinação teve grande importância para o conteúdo de açúcares e ácido aspártico e serina. Com respeito ao conteúdo de lisina das FIETG, considerável degradação ocorreu, principalmente na região de baixo conteúdo de umidade (<21%) e temperaturas maiores que 120°C. Entretanto, a digestibilidade protéica "in vitro" aumentou com o acréscimo da temperatura (106-174°C). A digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos (PDCAAS) foi influenciada pela umidade e temperatura de extrusão. A densidade aparente, o ISA, a cor, as características de viscosidade sofreram o efeito das três variáveis o IAA da umidade e da temperatura, enquanto que a força do gel foi influenciada pelo tempo de germinação e pela temperatura. É interessante observar que o mesmo valor para uma propriedade pode ser obtido sob diferentes condições de extrusão. As FIETG apresentaram uma boa estabilidade durante os 6 meses de armazenamento a temperatura ambiente. Contudo, o conteúdo de umidade e a temperatura de extrusão foram as variáveis que mais influenciaram a estabilidade das farinhas que mostraram baixa acidez álcool-solúvel e baixos teores de hexanal. As farinhas integrais produzidas neste trabalho mostraram características nutricionais e tecnológicas especiais, além de boa estabilidade ao armazenamento, com potencial para serem usadas em vários tipos de alimentos de acordo com suas propriedades.

Palavras-chave: germinação, extrusão, qualidade tecnológica, qualidade nutricional, farinha integral de trigo.

DOCTORATE THESIS

Author: Martha Z. de Miranda

Title: **Effect of wheat germination time and the extrusion variables on the technological and nutritional qualities of whole flour**

Supervisor: Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash

Department of Food Technology – Faculty of Food Engineering – State University of Campinas

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is used mainly as human food, in the form of flour. It possesses a tendency to germinate when prolonged rains occur at harvest time, resulting in its being discarded or used for animal feed. Extrusion technology offers the possibility of using this germinated wheat, which has been reported as having poor baking properties.

Thus, this work primarily investigated the effect of wheat germination in the laboratory (32-112h) on the characteristics of the whole flour of germinated wheat (WFGW). Germinated flours were found to have significantly higher protein, ash, energy value, sugars, lysine, riboflavin and pyridoxin concentrations than the control wheat flour, the lipid content remaining constant and the carbohydrates and thiamine contents decreasing. On the basis of these results, the nutritive value of the whole flour was improved by germination. The particle diameter, water absorption index (WAI), Falling Number values and maximum viscosity (at a constant temperature) decreased, while the yellow color (b*) and water solubility index (WSI) increased, in WFGW as compared to control flour. The WFGW was quite stable during storage for six months at room temperature when compared to the control whole flour, which presented high levels of hexanal.

In the second approach, nineteen treatments were prepared using the Brabender single-screw extruder, according to a central composite rotational design with three variables and five levels. The three independent variables were: wheat germination time (32, 48, 72, 96 and 112 hours), moisture content (16, 18, 21, 24 and 26°C) and extrusion temperature (106, 120, 140, 160, 174°C). Response Surface Methodology (RSM) was used to study the effects of the independent variables on the technological and nutritional qualities of the extruded whole flour of the germinated wheat (EWFGW). For each response, an analysis of variance (ANOVA) was conducted to determine significant differences amongst the various treatment combinations, using the SAS response surface regression procedure (RSREG), and later the models were adjusted by the SAS GLM procedure and built surface graphs using the STATISTICA program.

The moisture content and extrusion temperature were the variables that most influenced the physical properties of the extrudates (expansion, specific volume and hardness). For the chemical composition and nutritional quality of EWFGW, the extrusion temperature affected the protein, magnesium, copper, proline and glycine contents; moisture content influenced the cystine and leucine contents while germination time showed great importance with respect to the sugar, aspartic acid and serine contents. With respect to the lysine content of EWFGW, considerable degradation occurred, mainly in the region of low moisture content (<21%) and temperatures higher than 120°C. However, the in-vitro protein digestibility increased with increase in temperature (106-174°C). The protein digestibility, corrected for the amino acid score (PDCAAS), was influenced by moisture content and extrusion temperature. Apparent density, ISA, color and the viscosity characteristics, were affected by the three variables, and IAA by the moisture content and extrusion temperature. Gel strength was influenced by germination time and extrusion temperature. It is interesting to observe that the same value for a certain property can be obtained under different extrusion conditions. EWFGW showed good stability during the six months of storage at room temperature. However, the moisture content and extrusion temperature were, in general, the most important variables that influenced the stability of the flours, which presented low alcohol-soluble acidity and hexanal contents. The whole flours produced in this work showed special nutritional and technological characteristics. Moreover, they showed good storage stability, with a potential for use in several kinds of food according to their properties.

Key-words: germination, extrusion, technological quality, nutritional quality, whole wheat flour.

1. INTRODUÇÃO

A produção de trigo representa cerca de 30% da produção mundial de cereais. O cultivo do trigo é tão disseminado pelo mundo inteiro que em qualquer mês do ano ele é colhido em alguma parte de nosso planeta. Dos tipos de trigo cultivados, o trigo comum, por sua importância, representa mais de 90% da produção mundial. No Brasil, planta-se genericamente o trigo comum, *Triticum aestivum*, L.

Da produção total de trigo, 65% é consumido por humanos, principalmente na forma de farinha branca (72-80% de extração) usada na produção de pães, massas alimentícias, bolos, biscoitos ou como ingrediente na elaboração de inúmeros pratos. Cerca de 20% é usado para alimentação animal e os restantes 15% são empregados como semente e em usos industriais, sendo pequena parte perdida durante manuseio e processamento pós-colheita (BUSHUK, 1986).

A farinha branca possui fraco valor nutricional porque é pobre em vitaminas e minerais e suas proteínas são deficientes em aminoácidos essenciais, o que para populações de países pobres e em desenvolvimento, pode representar um problema, uma vez que a principal fonte alimentar provém de vegetais. Poderia ser feito o enriquecimento e/ou fortificação desta farinha com nutrientes, porém, encareceria muito o custo final do produto.

Em vista da deficiência geral de alimentos no mundo, e mais especificamente da baixa qualidade protéica, é adequado pesquisar todo procedimento que possa melhorar o valor nutricional e tecnológico de suprimentos alimentares disponíveis, como qualquer tipo de grão de cereal (DALBY & TSAI, 1976).

BETSCHART (1988) afirma que um caminho para elevar o valor nutricional da farinha de trigo é através do aumento da taxa de extração e/ou uso de farinha de trigo integral. Teríamos assim, o efeito benéfico das fibras alimentares e aumento do teor de vitaminas, porém, haveria menor digestibilidade protéica e aumento de fatores antinutricionais, como os fitatos, que se encontram nas camadas periféricas do grão, diminuindo a disponibilidade dos minerais. Contudo, embora a porcentagem de disponibilidade de minerais seja menor na farinha integral do que na farinha de trigo, a quantidade absoluta disponível é maior.

Outra opção, seria a germinação, que é possivelmente, um dos processos mais antigos, simples e econômicos para melhorar o valor nutricional de cereais e leguminosas. Os brotos de vários cereais são usados há muitos séculos em pratos tradicionais do Oriente e vem se tornando cada vez mais populares no mundo Ocidental (KUMAR & CHAUHAM, 1993).

Estudos dos benefícios do trigo germinado para a saúde humana (baixando o colesterol plasmático - LDL-colesterol - em pacientes com hipercolesterolemia e atuando na função imune pela redução da resposta inflamatória), e seu uso no desenvolvimento de suplementos alimentares e produtos nutracêuticos vem sendo realizados na Universidade de Alberta, no Canadá. Sugerem também que o trigo germinado possa se tornar um importante ingrediente em gomas de mascar e em outros alimentos (BASU, 1997).

No Brasil, embora a produção de trigo seja voltada para o consumo humano, as freqüentes ocorrências de chuvas no período da colheita, tem mostrado alta incidência de grãos germinados, principalmente na região sul do país, fazendo com que este seja classificado como “Abaixo do Padrão” para a indústria de panificação, sendo descartado ou utilizado para alimentação animal (BRASIL, 1994).

A extrusão é uma tecnologia versátil no desenvolvimento de inúmeras variedades de produtos alimentares de baixo custo (ANDERSON et al., 1971) e oferece a possibilidade de usar trigo germinado, o qual possui fracas propriedades de panificação (SINGH et al., 1987; SEKHON et al., 1992). Na extrusão ocorre o processo tecnológico de cocção e os processos químicos de gelatinização do amido e de desnaturação protéica, com conseqüências sobre as características funcionais e nutricionais dos produtos extrusados.

A combinação das tecnologias de germinação e extrusão, propõe uma alternativa de aproveitamento para o trigo nacional, tornando possível o emprego das farinhas integrais extrusadas de trigo germinado, como ingrediente ou aditivo alimentar.

O presente trabalho, teve por objetivo:

- ◆ Estudar o efeito do processo de germinação nas farinhas integrais de trigo germinado (FITG) produzidas em condições de laboratório
- ◆ Avaliar o efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão, na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral extrusada de trigo germinado (FIETG)
- ◆ Verificar a estabilidade ao armazenamento das farinhas produzidas

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O TRIGO

2.1.1. Cultura e Produção

O *Triticum* é, desde a pré-história, o mais importante dos cereais, sendo provavelmente, a mais antiga planta cultivada. Serviu de sustento de civilizações da Mesopotâmia e do Nilo, e conquistou a Europa (CARVALHO & NAKAGAWA, 1988).

Devido a sua adaptação a muitos tipos de solo e climas, sua faixa de cultivo estende-se entre 30 a 60° da latitude Norte e 20 a 40° da latitude Sul, em condições particulares encontra-se também no equador e no círculo polar (QUAGLIA, 1991).

Os principais produtores de trigo no mundo são a China, EUA, Índia, Rússia e a França e os maiores exportadores são os EUA, Canadá, Comunidade Econômica Européia, Austrália e Argentina (INTERNATIONAL, 1992).

No Brasil, o estado do Paraná é o maior produtor nacional, seguido pelo Rio Grande do Sul, representando juntos 94% do total. A produção brasileira de trigo que é cerca de 3 milhões de toneladas anuais, não supre consistentemente o nosso consumo e mais uma vez em função das chuvas, a safra brasileira de trigo foi reduzida no ano de 1997, alcançando o total final de 2,33 milhões de toneladas contra 3,24 milhões no ano anterior. O Brasil importa trigo, principalmente da Argentina, Canadá, EUA e Europa para suprir o consumo interno, que ultrapassa hoje 8 milhões de toneladas anuais (GERMANI et al., 1993; BRUM, 1998).

2.1.2. Estrutura e Composição Química

Os cereais assim como os demais membros da família *Gramineae*, chamados cariopses ou grãos, produzem frutos secos. No grão se identificam duas partes muito distintas: o pericarpo e a semente. O pericarpo, recobre a semente e se adere firmemente à capa da semente (testa). Na semente predomina o endosperma ao qual está aderido o germe ou embrião, o conjunto é recoberto pela fina camada de aleurona. A cariopse de todos os cereais se encontra envolta por diversas camadas celulósicas denominadas em conjunto glumas (HOSENEY, 1986).

Do ponto de vista tecnológico, o grão de trigo pode ser dividido em três partes distintas: o endosperma (83%), farelo (14%) e germe (3%). Cada parte compreende dois ou

mais tecidos anatomicamente diferentes. O endosperma inclui o endosperma amiláceo e a camada de aleurona, o farelo consiste de pelo menos seis tecidos diferentes e o germe geralmente inclui o escutelo e o embrião (BUSHUK, 1986).

Os constituintes não se distribuem uniformemente pelo grão. O pericarpo é rico em pentosanas, celulose e cinzas. A aleurona é uma camada rica em cinzas (fósforo, fitato), proteínas, lipídios, vitaminas (niacina, tiamina, riboflavina, piridoxina e ácido pantotênico, além de tocoferol) e enzimas. O endosperma é composto basicamente de amido, mas sua parte mais externa (subaleurona) contém mais proteínas que a porção interna. O germe tem alto conteúdo de proteínas, lipídios, açúcares redutores e cinzas (GERMANI et al., 1993).

2.2. GERMINAÇÃO

2.2.1. O Fenômeno da Germinação

2.2.1.1. Terminologias

Conforme MEREDITH & POMERANZ (1985) deve-se distingüir entre germinação no campo, maltagem e germinação em laboratório. As condições físicas e as mudanças fisiológicas resultantes diferem nos três tipos de germinação e, segundo estes autores é perigoso transferir conclusões de um tipo de germinação para os outros tipos. Quando o grão começa a germinar na planta na época de colheita, denomina-se *germinação no campo*.

As terminologias *maltagem* e *germinação* são usadas alternadamente na literatura, para descrever o processo de embebição ou maceração com água, de grãos de cereais secos até que eles estejam saturados, seguido pela germinação sob condições controladas por um período específico (CHAVAN & KADAN, 1989).

De modo genérico a *maltagem* é uma germinação controlada, seguida pela secagem controlada de uma semente (HOSENEY, 1986). Na maltagem, empenha-se em minimizar o crescimento da semente para evitar a perda de açúcares, causada pelo crescimento e respiração. Ao mesmo tempo é maximizada a degradação do endosperma e a formação de enzimas (MUNCK, 1981).

Estas diferenciações ainda não são aceitas oficialmente e a maioria dos autores usam estes termos indistintamente (HWANG & BUSHUK, 1973; DRONZEK et al., 1974; LUKOW et al., 1985; SHARMA et al., 1988; LEELAVATHI et al., 1990; SUR et al., 1993).

2.2.1.2. Definição

Apesar da germinação ser um fenômeno amplo e complexo, pode ser definida como o processo pelo qual, sob condições apropriadas, o eixo embrionário da semente dá prosseguimento ao seu desenvolvimento, que tinha sido interrompido por ocasião da maturidade fisiológica (CARVALHO & NAKAGAWA, 1988).

Para uma semente viável germinar, certas condições devem ser favoráveis: fornecimento adequado de água, temperatura desejável, certa composição de gases na atmosfera, luz (certas sementes) e ausência de inibidores da germinação, as duas primeiras condições são os fatores mais cruciais (LORENZ, 1980).

Conforme MAYER & POLJAKOFF-MAYBER (1989) a faixa ideal de temperatura para a germinação de trigo está compreendida entre 15 e 31°C. Porém, para WHITE (1973) citado por CHAVAN & KADAN (1989) encontra-se entre 70-80°F (21-27°C), durante 3-4 dias. As partes de uma semente de trigo germinado são mostradas na **Figura 1**.

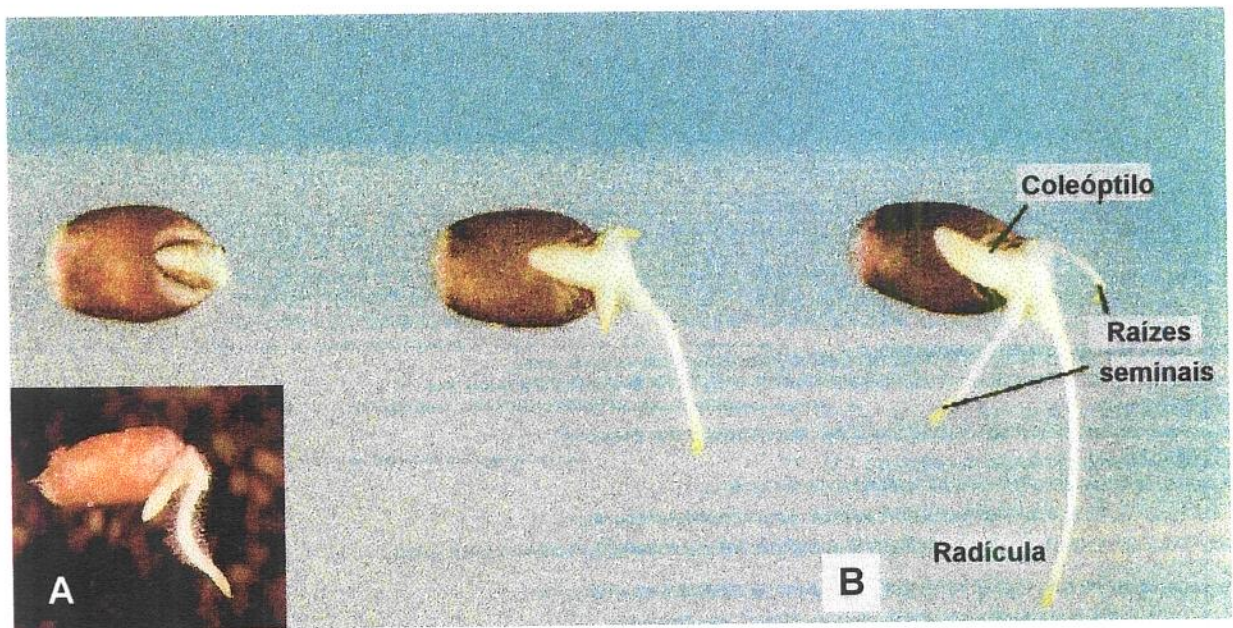


Figura 1. Semente de trigo germinando

(A) radícula e plúmula emergindo e (B) partes da semente de trigo germinado

FONTE: A- <http://dspace.dial.pipex.com/town/terrace> (web97@holt-studios.co.uk)

B- Adaptado de <http://etcs.ext.missouri.edu> (:70/info/agron/fig_08.html)

2.2.1.3. Metabolismo e fases do processo germinativo

A germinação é um processo que envolve tanto reações catabólicas, como a degradação de substâncias de reservas, quanto reações anabólicas na produção de novas células e organelas do embrião (METIVIER, 1979).

A semente madura e seca, em estado de quiescência, caracteriza-se pelo baixíssimo nível de atividades metabólicas. Para que a semente abandone este estado e inicie sua germinação, ela passa por um "despertar". Este consiste fundamentalmente de eventos que podem ser sumarizados como: *reidratação*, em que ocorre a embebição de água pelas células do embrião e endosperma; *formação e liberação de enzimas*, com a reativação das organelas celulares e macromoléculas e *metabolismo das substâncias de reserva*, com geração de energia metabólica através do sistema citocromo, levando, ao crescimento e divisão da célula (MEREDITH & POMERANZ, 1985; POPINIGIS, 1985).

No processo de absorção de água, embebição máxima durante a maceração é vantajosa. Porém, água demasiada pode quebrar a casca e afetar a capacidade de germinação (CHAVAN & KADAN, 1989). O processo de embebição caracteriza-se pelo aumento do volume da semente (o volume de água absorvida é grande em relação ao peso da matéria seca da semente), desenvolvimento de considerável pressão, que é acompanhada pela liberação de calor durante o início da absorção de água (é um processo exotérmico) e o volume final é menor que a soma dos volumes originais da água e da semente. A embebição diminui com o aumento da concentração do soluto na água, devido a efeitos osmóticos. Isto é devido principalmente às proteínas que absorvem a água durante a germinação. A celulose também pode contribuir para o entumescimento, enquanto o amido não tem efeito. A embebição de água pelas sementes reflete em alguma extensão a composição da semente (LEVARI, 1960 citado por LORENZ, 1980; POPINIGIS, 1985).

CARVALHO & NAKAGAWA (1988) descreveram detalhadamente as 3 fases do processo germinativo das sementes em função do teor de umidade (Figura 2):

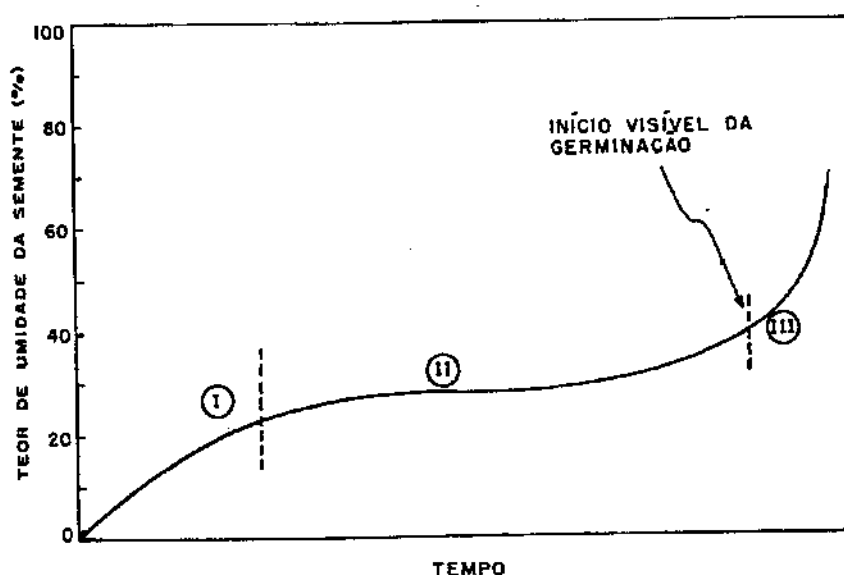


Figura 2. Fases da germinação de sementes em função do teor de umidade
FONTE: BEWLEY & BLACK (1978) citados por CARVALHO & NAKAGAWA (1988).

Fase I: seria de maneira geral muito rápida (em uma ou duas horas a semente a completaria), atingindo um teor de umidade oscilando entre 25-30% para as sementes de cereais. *Fisiologicamente* esta fase caracteriza-se por um acentuado aumento na intensidade respiratória (resulta na produção de grandes quantidades de energia, a qual, em boa parte, vai ser utilizada em uma série de reações bioquímicas), principalmente a partir de 14-16% de umidade. *Bioquimicamente*, caracteriza-se pelo início da degradação das substâncias de reserva (carboidratos, proteínas e lipídios) que deverão nutrir o crescimento do eixo embrionário até o ponto em que a plântula resultante tenha desenvolvido um sistema radicular capaz de retirar do solo os nutrientes que a planta necessita. Além destas, os fosfatos, embora em quantidades relativamente pequenas, são de vital importância, pela sua participação na composição das moléculas armazenadoras de energia. O transporte dessas substâncias exige que elas estejam desdobradas em substâncias de menor tamanho molecular.

Fase II: teria início ao atingir valores de umidade entre 25-30%, em que estaria ocorrendo um transporte ativo das substâncias desdobradas na fase anterior, do tecido de reserva para o meristemático. Nesta fase embora recebendo algum nutriente, o eixo embrionário ainda não consegue crescer e a semente praticamente pára de absorver água. A duração desta fase é 8 a 10 vezes mais longa que a primeira, e a intensidade respiratória da semente também cresce de maneira muito lenta.

Fase III: Subitamente, a partir de um teor de umidade que varia de uns 35 a 40%, a semente volta a absorver água e a respirar intensamente. Deste ponto em diante tem início o crescimento visível do eixo embrionário, inicia-se a *fase 3*, da germinação. Ao nível bioquímico, o que a caracteriza é que as substâncias desdobradas na fase 1 e transportadas na 2, são reorganizadas em substâncias complexas, para formar o citoplasma, o protoplasma e as paredes celulares, o que permite o crescimento de eixo embrionário (brotamento). O início de uma nova fase não inibe a ocorrência da anterior, de modo que, quando a fase 3 inicia, a semente em germinação apresenta, simultaneamente as 3 fases.

Durante a germinação e o crescimento da semente, o embrião produz e secreta giberelinas naturais para o endosperma. Estes hormônios induzem o desenvolvimento de enzimas hidrolíticas. A camada de aleurona é a sede da síntese de importantes enzimas que participam na degradação das reservas que se encontram no endosperma. Os primeiros dois dias de germinação coincidem com o máximo movimento de giberelinas do embrião para a aleurona, e por isso a manutenção da umidade é essencial (MEREDITH & POMERANZ, 1985).

O eixo embrionário possui reservas suficientes para as atividades metabólicas das primeiras 24 horas de germinação. Estas reservas perfazem aproximadamente 20% de seu teor de matéria seca e são constituídas por sacarose, rafinose, lipídios e aminoácidos (POPINIGIS, 1985). À medida que a germinação progride, o peso total da matéria seca da plântula diminui, acusando perda correspondente à energia empregada nas transformações metabólicas e de transporte, somada às perdas de energia ocorridas durante o processo (METIVIER, 1979).

O processo de germinação, diminui o teor de amido da semente, devido sua transformação em glicídios, porém estes não acumulam, são utilizados em grande parte na respiração, para produção de energia, bem como na síntese de outras moléculas complexas (POPINIGIS, 1985). Os cereais apresentam quantidades relativamente pequenas de lipídios, basicamente triglicerídios (DRAPRON et al., 1969); que na germinação são hidrolisados e também não acumulam na semente, sendo utilizados para os processos metabólicos.

As proteínas, por sua vez, são armazenadas em partículas protéicas ou grãos de aleurona. Durante a germinação, ocorre a hidrólise catalisada por proteases. Os aminoácidos resultantes são translocados para os pontos de crescimento, onde são utilizados diretamente na formação de novas proteínas, ou são oxidados para liberação de energia no Ciclo de Krebs (POPINIGIS, 1985).

2.2.1.4. Métodos de germinação

Existem poucos estudos científicos com grãos de trigo germinados no campo (BELÉIA & GROSSMANN, 1990; PIENIZ et al., 1996; LIMA et al., 1998) devido sua complexidade. Alguns caracterizam o material de partida como porcentagem de grãos germinados, contudo os grãos germinados variam muito na quantidade de enzimas. Assim, o mais comum é a utilização de métodos de germinação caseiros e/ou de laboratório (KRUGER, 1994).

Diferentes métodos tem sido usados para produzir cereais germinados por processo caseiro, mas basicamente as sementes secas são maceradas em água (1:3 p/v) até que estejam completamente saturadas e após, o excesso de água é drenado e as sementes colocadas em um recipiente ou amarradas em pano para que germinem (CHAVAN & KADAN, 1989).

Nos experimentos de laboratório tem sido usados condições ideais de germinação e períodos de maceração, germinação e secagem pré-determinados (Tabela 1). Assim, pode-se escolher as condições desejadas, como realizar pré-tratamento ou não, macerar ou não os grãos, utilizar o processo de germinação entre papéis, em placas de Petri ou em bacias/bandejas; ou ainda realizar secagem em diferentes temperaturas.

Tabela 1. Germinação do trigo: pré-tratamentos, maceração, germinação e secagem, segundo diferentes autores

AUTORES	Pré-Tratamento	Maceração (até %U / duração)	Temperatura de Germinação	Tempo de Germinação	Umidade Relativa	Secagem (T °C / duração)	Umidade Final	Observações
BARTNIK & SZAFRÁŃSKA (1987)	---	---	20°C	6, 16, 26, 48, 72 e 96h	---	38°C	---	---
CORDER & HENRY (1989)	NaOCl 1% / 20 min.	---	16°C	72h	---	---	---	---
DALBY & TSAI (1976)	etanol 70% / 1 min. + clorox 10% / 3 min.	---	28 °C - escuro	120h	---	---	---	---
DRONZEK et al. (1974)	---	48h	20 °C	48, 96 e 192h	---	---	---	Remoção de raízes e coleópilo
FINNEY & RUBENTHALER (1979)	---	42%U	25°C	23, 30, 38, 44 e 55h	---	45°C / 8-12h	7-9%	Farinha integral
HAMAD & FIELDS (1979)	---	48h	20°C	72h	---	50-55°C / 48h	---	Germ. entre papéis/far.integral/ sementes não germ. descartadas
KRUGER & MATSUO (1982)	---	2h	18°C	72-120h	100%	22 °C	10,5%	---
LEELAVATHI et al. (1990)	---	16h / 25°C	25-27°C	24, 48 e 72h	60-65%	35 °C	10%	Remoção de radícula e raízes/ armazenamento a 4°C
LUKOW & BUSHUK (1984)	NaOCl 2% / 15 min. - 20°C	16h / 4°C	21°C	18, 35 e 54h	67%	---	---	Remoção de raízes e coleópilo
LUKOW et al. (1985)	NaOCl 2% / 15 min. - 20°C	16h / 4°C	21°C	18, 35 e 54h	67%	---	---	---
MARSH (1988)	12,5 g.L ⁻¹ NaOCl / 2h	---	30°C - escuro	48h	---	---	---	Farinha integral / Germinação entre papéis
SETHI & BAINS (1978)	solução de CaO 0,05%	42%U / 20°C	20°C	72, 120 e 168h	---	40 °C	---	Raízes removidas
SHARMA et al. (1988)	---	8h / 30°C	30°C	24 e 48h	80%	32 °C	14%	---
SINGH & SOSULSKI (1985)	---	44%U / 72h / 15°C	15°C	48, 120 e 192h	95%	55°C/20min, 85°C/4h e resf.20 °C	---	Raízes removidas
SINGH et al. (1987)	---	8h / 32°C	32°C	24 e 48h	75%	80 °C / 15min.	12%	---
SINGH & BAINS (1988)	---	44%U / 25h	15°C	120h	95%	50°C / 20h	---	---
TKACHUK (1979)	NaOCl 1,25% / 15 min. - 20°C	21h / 16,5 e 25°C	16,5 e 25°C	24 e 122h	98%	---	6-8%	---

OBS: %U= porcentagem de umidade; NaOCl= solução de hipoclorito de sódio; CaO= solução de óxido de cálcio; --- = não citado

2.2.2. Efeito da Germinação na Composição Química e na Qualidade Nutricional

A germinação de grãos de cereais causa aumento na atividade enzimática, perda na matéria seca total, mudança na composição em aminoácidos, diminuição do amido, aumento dos açúcares, leve aumento nos lipídios, fibra bruta e em certas vitaminas e minerais (MORAD & RUBENTHALER, 1983).

O aumento de nutrientes reflete a perda da matéria seca, principalmente sob a forma de carboidratos devido a respiração do grão (LORENZ, 1980). Embora as mudanças quantitativas sejam consideradas aparentes, qualitativamente são mais evidentes e com grande importância nutricional.

2.2.2.1. Carboidratos

MARERO et al. (1990) investigaram a quebra do *amido* em maltoligossacarídeos através do processo de germinação. Os açúcares totais nas amostras de farinha diminuíram após o período de germinação de 4 dias (96 horas) devido a atividade da α -amilase. Os açúcares solúveis aumentaram nas farinhas, isto pode ser atribuído ao aumento da taxa de mobilização de carboidratos solúveis no endosperma dos cereais durante a germinação. DRONZEK et al. (1974) observaram consideráveis aumentos nos açúcares livres durante a germinação de trigo.

DRONZEK et al. (1974) observaram que, mesmo após 8 dias de germinação, nem todos os grânulos de amido foram atacados pelas amilases, havia ainda um grande número de grânulos intactos. Os grânulos de amido próximos a camada de aleurona do grão foram atacados em um estágio inicial e mais severamente que os grânulos no interior do endosperma, sugerindo uma maior atividade da α -amilase na camada de aleurona. A maioria dos ataques foram em grânulos tipo A (grandes), nos estágios iniciais da germinação, diferentemente dos grânulos tipo B (pequenos e esféricos), sugerindo que estes grânulos diferem na estrutura física. Segundo LINEBACK & PONPIPOM (1977) as células da parede do endosperma pareciam ter sofrido hidrólise que não foram observadas durante os estágios posteriores de germinação, quando a degradação dos grânulos de amido no endosperma foram mais extensas.

Os teores de *fibra alimentar* em farinhas de trigo sem germinar foram estudados por NYMAN et al. (1984) que investigaram os teores fibra alimentar em farinhas de trigo vermelho duro de inverno, com diferentes taxas de extração pelo método enzimático-gravimétrico de ASP, encontrando 12,1% de fibra alimentar total na farinha com 100% de

extração, sendo o conteúdo de fibra solúvel cerca de 1,3%, independente do grau de extração, mostrando que os polissacarídeos solúveis provém essencialmente do endosperma. Os principais componentes da fibra alimentar da farinha com 100% de extração foram: xilose (36%), glicose (33%) e arabinose (24%), contudo a composição foi similar nas diferentes taxas de extração, sugerindo que a razão xilose-arabinose no endosperma e nas camadas mais externas é similar. Porém, estas proporções variam nas diferentes variedades de trigo.

Em estudo interlaboratorial os teores de fibra alimentar em farinha integral de trigo determinados através de método enzimático-gravimétrico, variaram de 5,33 a 16,98%, sendo o valor médio das análises de 30 laboratórios, 12,92% (PROSKY et al., 1984). PROSKY et al. (1985) verificaram um teor de 12,57% de fibra alimentar total em farinha integral de trigo e RANHOTRA (1994) encontrou 10,2%.

Não foram encontrados dados de literatura sobre os teores de fibra alimentar em farinhas de trigo germinado. Contudo, RANHOTRA et al. (1977) encontraram um aumento na *fibra bruta* de 2,70% na farinha controle para 4,30%, macerando o trigo por 2 dias e deixando germinar por 4 dias a 23°C. KUMAR & CHAUHAN (1993) também relataram que o teor de fibra aumentou proporcionalmente ao período de germinação e que o desaparecimento do amido, o desenvolvimento de radículas e seu crescimento adicional, podem resultar em tecido fibroso aumentando assim o conteúdo de fibra dos brotos.

DANISOVÁ et al. (1994) sugeriram que os componentes fibra (lignina, celulose) são construídos dos polissacarídeos (principalmente amido), uma vez que o conteúdo de carboidratos solúveis diminuiu durante a germinação em pelo menos 1%. Entretanto, para LORENZ (1980) e CHAVAN & KADAN (1989) o aumento no conteúdo de fibra pode ser explicado com base na degradação da parede celular durante a germinação, não havendo nenhuma evidência de que os componentes da fibra como celulose e lignina sejam sintetizados dos carboidratos durante a germinação.

2.2.2.2. Proteínas

As diferenças na composição em aminoácidos do trigo e proteínas da farinha são afetadas pela taxa de extração da farinha, sistema de moagem e também em menor proporção pelas propriedades de moagem de trigos de várias classes e variedades (SHOUP et al., 1966). Entre os fatores que podem contribuir para as variações no conteúdo de proteína de farinhas de cereais germinados estão: espécies e cultivares, temperaturas de germinação, método de germinação, tempo de maceração e porcentagem de germinação (CHAVAN & KADAN, 1989).

BERESH (1969) citado por HWANG & BUSHUK (1973) mostrou que a degradação das proteínas do glúten durante a germinação ocorre primariamente como resultado da quebra das ligações peptídicas. Subseqüentemente, isto poderia levar a uma quebra de ligações secundárias (iônicas, de hidrogênio e hidrofóbicas), conhecidas por contribuírem para a estrutura física do glúten.

Na maioria dos estudos a proteína total aumentou durante a germinação de cereais. Isto tem sido atribuído a perda de matéria seca através da respiração durante a germinação ou a uma alteração das substâncias nitrogenadas, ao invés de aumento real de proteínas (LORENZ, 1980).

DALBY & TSAI (1976) estudaram a mudança no teor de proteínas de vários cereais germinados por 5 dias a 28°C no escuro, encontrando um aumento no conteúdo de proteína, proporcional ao tempo de germinação. Resultados semelhantes foram obtidos por RANHOTRA et al. (1977) que verificaram o aumento no teor de proteína em farinha de trigo germinado, obtida pela maceração do trigo em água destilada por 2 horas, germinação por 3 a 5 dias a 23°C no escuro, liofilização e moagem.

NIELSEN et al. (1978) citados por CHAVAN & KADAN (1989) encontraram teores aumentados de proteína com o aumento do tempo de germinação, teores de 12,9% de proteína (N x 5,7) em trigo sem germinar aumentaram para 13,5; 13,3 e 14,7% em trigo germinado à 20 °C por 48, 96 e 240h, respectivamente. LEMAR & SWANSON (1976) obtiveram concentrações de proteína e cinzas aumentadas em relação a farinha controle em farinhas integrais de trigo vermelho duro de inverno, germinado por 1 e 3 dias.

Em farinhas brancas de trigo mole germinado por 48 e 96 horas, LORENZ & VALVANO (1981) obtiveram teores de cinzas e proteína aumentados em relação a farinha sem germinar e LEELAVATHI et al. (1990) encontraram aumentos significativos nos teores de proteína e cinzas em farinhas brancas de trigo macerado por 16 horas e após germinado por 24, 48 e 72 horas.

HWANG & BUSHUK (1973), no entanto, encontraram uma pequena perda de proteína, em farinha de trigo macerada por 2 dias e então germinada por 2, 4 e 8 dias a 20°C. A diminuição no teor de proteínas foi atribuído a perda de compostos nitrogenados de baixo peso molecular, por aumento da atividade proteolítica devido ao longo período de maceração dos grãos. Assim o tempo de maceração explicaria as diferenças no conteúdo protéico como resultado da germinação. Observaram também que durante a germinação na hidrólise das prolaminas, aminoácidos como a prolina e o ácido glutâmico são convertidos em lisina.

SHARMA et al. (1988) também encontraram diminuições significativas nos conteúdos de proteína e cinzas de farinhas brancas produzidas de trigo germinado por 24 e 48 horas a 30°C. Contudo, os teores de proteína, cinzas e lipídios dos grãos de trigo germinados dos quais foram produzidas estas farinhas pouco se alteraram. A diminuição de proteína foi atribuída ao processo de moagem de grãos germinados que levou a menores recuperações, quando comparados com a amostra controle e/ou a perda de compostos de nitrogênio de baixo peso molecular (ou seja, a solubilização de proteínas durante a maceração), já os menores teores de cinzas podem ter sido consequência de perdas na lavagem no processo de maceração e ao uso dos íons inorgânicos durante a respiração.

DANISOVÁ et al. (1994) embora não tenham verificado aumento significativo no teor total de proteína durante a germinação do trigo por 48 e 96 horas, observaram aumentos nos conteúdos de aminoácidos essenciais (5-23%) e totais (para alguns aminoácidos acima de 50-100%), comprovando, que no processo de germinação a degradação de proteína ocorre, tornando o alimento mais facilmente digerível.

As sementes secas possuem poucos aminoácidos livres. O crescimento do embrião na semente em germinação, depende de um fornecimento de aminoácidos para a síntese protéica e a principal fonte para esta síntese são as proteínas de armazenagem, mas sua relação de aminoácidos não é necessariamente igual a proteína recentemente sintetizada e, aparentemente ocorre interconversão de aminoácidos. Os principais caminhos para esta interconversão são as reações de transaminação e desaminação (MAYER & POLJAKOFF-MAYBER, 1989).

Os mesmos autores explicam que durante a germinação no escuro, as proteínas são hidrolisadas em aminoácidos, parte destes aminoácidos são desaminados oxidativamente e o esqueleto carbono entra em vários ciclos respiratórios e carbônicos. A amônia formada pela desaminação é detoxificada pelo processo de formação de amida. As principais amidas formadas são a glutamina e asparagina, dependendo da planta. Porém, nem todos os aminoácidos são desaminados, parte é utilizada para a síntese de proteínas na região de crescimento da semente.

As mudanças no conteúdo de aminoácidos durante a germinação de cereais tem sido muito estudada. CHAVAN & KADAN (1989) afirmaram que a maioria dos aminoácidos essenciais diminuem com a germinação, exceto a lisina, que aumenta notavelmente. TSAI et al. (1975) observaram um grande e rápido aumento dos aminoácidos limitantes em cereais, lisina e triptofano, durante os 4 primeiros dias de germinação de milho normal e o teor destes aminoácidos foi comparável aos valores encontrados em milhos com alto teor de lisina.

Sementes de sorgo e milho germinadas a 25, 30 e 35°C apresentaram níveis aumentados de lisina, metionina e triptofano quando comparadas com sementes não germinadas (WANG & FIELDS, 1978).

TKACHUK (1979) determinou os níveis de aminoácidos livres em sementes de trigo germinado por 2, 4, 12, 24, 48, 72, 100 e 122 horas, encontrando que a germinação prolongada causa grandes aumentos nos níveis de todos aminoácidos livres, com exceção do triptofano e ácido aspártico. Explicou que este aumento nos aminoácidos livres se deve ao acréscimo nos níveis de enzimas proteolíticas durante a germinação. Os maiores aumentos foram exibidos pela prolina e glutamina.

MILLER (1978) citado por CHAVAN & KADAN (1989) relataram um aumento no conteúdo de lisina de 15 a 27% após 7 dias de germinação com aumento maior em trigos com baixos teores protéicos e menor em variedades de altos teores protéicos. Tais variações nos resultados podem ser atribuídos as variações nos procedimentos usados para germinação, porcentagem de germinação e vigor das sementes. A variação no conteúdo protéico devido a fatores agrônômicos ou causa genética pode também ser importante na extensão do aumento de lisina nos grãos durante a germinação.

A extensão do aumento de lisina parece estar diretamente relacionado com a quantidade de prolamina presente e sua taxa de mobilização (CHAVAN & KADAN, 1989). DALBY & TSAI (1976) notaram que, durante a germinação de trigo por 5 dias, o teor de lisina aumentou e de prolamina diminuiu, sugerindo uma aparente correlação entre o conteúdo de prolamina, sua taxa de mobilização e a extensão de aumento de lisina.

MILADI et al. (1972) encontraram para o trigo, 2,47 g/100g de lisina e 2,82 g/100g de treonina e teor de amônia de 3,73 g/100g, e WU et al. (1984) obtiveram para trigo branco mole de inverno, 3,2 g/100g de lisina e 3,3 g/100g de treonina. Entretanto, DANISOVÁ et al. (1994) obtiveram teores mais elevados, para o trigo foi encontrado 3,42g/100g de lisina e 3,02g/100g de treonina e para o trigo germinado, 4,06 e 3,59 g/100g, respectivamente.

Os resultados obtidos por MARERO et al. (1988a,b) mostraram que a combinação de farinhas de cereais e leguminosas na proporção 70:30 fornecia eficiente complementação de aminoácidos, próximos aos valores de referência da FAO, exceto para os aminoácidos sulfurados, treonina, lisina e triptofano.

A análise química dos aminoácidos livres nos hidrolisados ácidos de um alimento pode fornecer uma boa estimativa da quantidade total de cada aminoácido que ele contém. Contudo, as quantidades que podem realmente ser de valor nutricional são menores, devido a

uma fraca digestibilidade da proteína, e também, possivelmente, porque os aminoácidos individuais estão presentes em ligações químicas (isto é., na forma ligada) que são liberadas por digestão à quente em presença de ácido forte, mas não pelas enzimas digestivas no intestino. O segundo tipo de problema ocorre particularmente com unidades de lisina que ainda tem grupo amino primário reativo quando ligado a uma cadeia peptídica. Durante o processamento de alimentos, este grupo pode sofrer reações de Maillard com açúcares redutores ou outros compostos aldeídicos e, sob condições mais severas, formar imidas com compostos que tenham grupos carboxila livres. Isto pode ser de importância nutricional uma vez que a lisina é o primeiro aminoácido limitante nos cereais (CARPENTER et al., 1989).

Quando o teor de lisina da dieta é insuficiente, limita o crescimento de animais. Em muitos alimentos, a lisina é o aminoácido limitante não somente pelas pequenas quantidades que são incorporados das proteínas durante a biossíntese, mas também em consequência de mudanças químicas secundárias devido a fatores como luz, calor, álcali e açúcares redutores tornando a lisina nutricionalmente indisponível. A lisina é nutricionalmente disponível quando o grupo ϵ -amino está livre. Se este grupo estiver bloqueado através de uma ligação química, o segmento da proteína próximo ao resíduo de lisina afetado pode não ser digerido (HOLGUIN & NAKAI, 1980).

MILADI et al. (1972) obtiveram para o trigo o *escore químico* de 35 e 91% de *disponibilidade de lisina* (2,47 g/100g de lisina e 2,25 g/100g de lisina disponível), próximo da faixa de 89 a 94% encontrada por TAVERNER & FARRELL (1981a) para grãos de trigo de variedades diferentes. Já TAVERNER & FARRELL (1981b) encontraram valores médios de 86% de lisina disponível no trigo.

As mudanças que ocorrem durante a germinação são causadas por várias *enzimas* presentes na semente seca e tornam-se ativas no momento da embebição de água. As enzimas hidrolíticas predominam durante os primeiros estágios do processo de germinação. Estas incluem, enzimas que degradam carboidratos, como α e β -amilases, endo- β -glucanase, dextrinase limite, proteases e lipases. Entre as enzimas que hidrolisam carboidratos, a α -amilase é a principal enzima que hidrolisa amido (CHAVAN & KADAN, 1989).

CORDER & HENRY (1989) avaliaram enzimas que degradam carboidratos durante a germinação de trigo, notando que a atividade enzimática (α -amilase, β -glucanase e β -xilanase) aumentou após 4 dias de germinação. Porém, a atividade diminuiu quando os grãos foram secos a 30°C. Temperaturas mais altas podem inicialmente acelerar a produção de algumas enzimas até que a umidade ou temperatura tornem-se limitantes, reduzindo assim a aparente perda de atividade.

No estudo da atividade lipolítica no decorrer da germinação observou-se que a atividade lipolítica ocorre no coleóptilo; durante a germinação no escuro, a degradação de lipídios pela lipase fornece uma importante fonte de energia, compensando assim em parte a falta de energia radiante; a 30°C a atividade lipolítica dos grãos germinados no escuro foi bem maior do que a 15°C (DRAPRON et al, 1969).

O método de germinação pode ser uma maneira de converter proteínas vegetais de fraca qualidade nutricional em proteínas de melhor qualidade, para uso humano e animal. No entanto, segundo LORENZ (1980), os resultados neste sentido não tem sido encorajadores. A maioria dos estudos em animais não mostraram diferenças significativas de ganho de peso, quando se comparou animais (gado, porcos e frangos) alimentados com cereais germinados e os que usaram cereais não germinados na alimentação.

Enquanto experimentos com outros animais não mostraram tais melhoras e dados com humanos não são disponíveis, a maioria dos experimentos "in vitro" com *Tetrahymena* e com ratos, indicaram melhoras nutricionais através da germinação (CHAVAN & KADAN, 1989).

A qualidade protéica dos alimentos depende não somente de sua composição em aminoácidos mas também da disponibilidade destes aminoácidos. A lisina é o aminoácido limitante do trigo. O valor nutritivo relativo (RNV), medido por *Tetrahymena pyriformis* e o conteúdo de lisina disponível, medida por hidrólise com *Pediococcus cerevisiae*, para farinha integral de trigo feita de trigo germinado à 20°C por 3 dias, foram significativamente mais altos do que para farinha de trigo não germinado, indicando assim, uma melhora na qualidade protéica (HAMAD & FIELDS, 1979).

Quanto mais longo o período de germinação de cereais e leguminosas, maior a digestibilidade de suas farinhas. Desta maneira, o aumento da digestibilidade protéica "in vitro" foi causado pela redução efetiva de fatores antinutricionais através da germinação, em adição aos tratamentos de calor durante a preparação de farinhas e elaboração dos alimentos (ABBEY & MARK-BALM, 1988; MARERO et al., 1991b).

2.2.2.3. Lipídios e estabilidade ao armazenamento

WU & WALL (1980) não observaram mudanças no conteúdo de lipídios durante a germinação de grãos de sorgo. Contudo, LEMAR & SWANSON (1976) e RANHOTRA et al. (1977) encontraram maiores teores de lipídios em FITG por 3 e 5 dias, respectivamente, o que atribuíram ser consequência da síntese de lipídios devido a degradação do amido.

Diferenças no tempo de maceração e condições de germinação podem causar mudanças no produto armazenado. Entretanto, em todos os estudos com trigo, o conteúdo final de lipídios de grãos germinados foi superior ao de grãos não germinados. O aumento no conteúdo de lipídios tem sido atribuído a síntese destes devido a degradação do amido (LORENZ, 1980).

O grão saudável, armazenado adequadamente conserva-se como uma fonte alimentar por meses ou mesmo anos. O trigo germinado e armazenado em condições inadequadas pode induzir a mudanças que levam a problemas de rancidez nas matérias-primas ou em produtos feitos delas (GALLIARD, 1983).

As mudanças deteriorativas nos grãos podem ser oxidativas, resultando em odores e sabores de rancidez típicos, ou hidrolíticas, resultando na produção de ácidos graxos livres. Os grãos contêm antioxidantes ativos que protegem contra os efeitos do oxigênio, assim a rancidez oxidativa raramente é um problema em grãos armazenados. Porém, a farinha de trigo integral pode ser mantida por um período relativamente curto, porque rapidamente rancifica devido sua maior quantidade de lipídios (POMERANZ, 1974).

A rancidez pode ser conceituada como uma avaliação organoléptica subjetiva da qualidade do alimento. Os "off-flavours" relacionam-se às mudanças que resultam da reação com o oxigênio atmosférico, isto é, rancidez oxidativa, ou pelas reações hidrolíticas catalisadas pelas lipases do alimento ou dos microrganismos. Os efeitos das reações hidrolíticas podem ser minimizados pelo processamento e armazenamento adequados, já a rancidez oxidativa ou autooxidação, é uma reação química com baixa energia de ativação (4-5 kcal.mole⁻¹ para o primeiro passo e 6-14 kcal.mole⁻¹ para o segundo passo), em que a velocidade da reação não é significativamente diminuída pelas condições de processamento e armazenamento (HAMILTON, 1983).

SUR et al. (1993) verificaram que o teor de lipídios de farinhas controle e de trigo germinado por 24 e 48 horas não apresentou diminuição significativa com o armazenamento por 0, 45, 90 e 135 dias. Contudo, os ácidos graxos livres em farinhas germinadas estocadas aumentaram significativamente após 135 dias de armazenamento e o aumento foi mais pronunciado do que nas farinhas não germinadas, mostrando que as primeiras deterioram mais rapidamente durante um longo período de estocagem. Foi sugerido que o aumento na acidez pode ser devido a quebra enzimática dos lipídios.

MOLTEBERG et al. (1995) notaram que a acidez titulável aumentou significativamente com o aumento da umidade relativa e o tempo de armazenamento de aveia processada. Usaram o hexanal, o principal produto volátil da oxidação lipídica com a maior

alteração durante o armazenamento e processamento, como um indicador do conteúdo total de produtos de oxidação. A concentração de hexanal nas amostras de aveia aumentou durante o armazenamento, paralelamente ao aumento nos níveis de ácidos graxos livres.

FRITSCH & GALE (1977) na determinação de hexanal em produtos cereais com trigo (cereais matinais) encontraram no tempo zero, 0,03 ppm e após 20 e 32 semanas, 0,72 e 3,97 ppm de hexanal, respectivamente. Concluíram que a velocidade de oxidação lipídica de produtos desidratados é afetada não somente por sua composição mas também pelo teor de umidade, condições de processamento, área de superfície e outros fatores desconhecidos. Observaram que outros picos apareceram no cromatograma e aumentaram proporcionalmente a deterioração.

2.2.2.4. Cinzas e minerais

O aumento do teor de cinzas durante a germinação é considerado aparente, devido a perda de amido, já um decréscimo pode ser atribuído a perdas durante a maceração e lavagens. As mudanças quantitativas em um elemento mineral individual e sua forma química durante a germinação, podem ser mais importantes que as mudanças no teor de cinzas total. Um aumento em todos os elementos minerais é, claramente devido a perda de peso seco e , portanto, pode ser tratado como aparente (CHAVAN & KADAN, 1989).

AHMAD et al. (1994) no estudo da concentração de elementos traços em grãos de trigo encontraram 0,36 % de potássio; 38,9 ppm de ferro, 2,6 ppm de cobre e 24,2 ppm de zinco (ou 360; 3,89; 0,26; 2,42 mg/100g, respectivamente). VAN DOKKUM et al. (1982) mostraram que, com exceção do cálcio, o balanço mineral, o qual reflete a disponibilidade, é significativamente maior na farinha integral do que na farinha de trigo.

DANISOVÁ et al. (1994) encontraram decréscimo de ferro (30-60%) e de cálcio (8-12%) e um acréscimo de fósforo (9-16%) em trigo germinado por 48 e 96 horas.

RANHOTRA et al. (1977) na avaliação de minerais em trigo germinado, encontraram aumentos nos teores de cinzas totais, cálcio e zinco; já os teores de ferro e magnésio diminuíram até o terceiro dia, voltando a aumentar a partir do quarto dia de germinação.

A germinação levou a aumentos significativos nos teores de fósforo (20%); zinco (4,5%) e magnésio (3,5%). Uma diminuição foi observada para o cálcio (5,1%) e ferro (3,5%), porém, estas reduções não foram estatisticamente significativas. O aumento de fósforo devido a germinação pode ser explicado pelo aumento de atividade da enzima fitase.

Ela hidrolisa o fosfotato aumentando o nível de fósforo. As diminuições observadas no cálcio e ferro, bem como no potássio, podem ser devido a utilização para o crescimento do broto ou perdas na água durante a maceração. A redução no fitato pode aumentar a biodisponibilidade de cobre, magnésio, ferro, manganês e zinco, que formam complexos com fitato (AKINLOSOTU & AKINYELE, 1991).

2.2.2.5. Vitaminas

O trigo germinado é rico em vitaminas do complexo B e também contém alguma pró-vitamina A e vitaminas D e E (POMERANZ & ROBBINS, 1971 citados por CHAVAN & KADAN, 1989).

A farinha de trigo não contém quantidades detectáveis de ácido ascórbico, enquanto o trigo germinado possui pequenas quantidades desta vitamina (LORENZ, 1980). Foram verificados que os aumentos significativos nos teores de vitamina C (834%), provocados pela germinação, ocorreram devido à produção desta vitamina para o crescimento dos brotos. Notou-se também um aumento no teor de niacina (237%) após 96 h de germinação (AKINLOSOTU & AKINYELE, 1991).

Contudo, LEMAR & SWANSON (1976) não encontraram ácido ascórbico na farinha de trigo germinado, verificando somente aumentos significativos nos teores de tiamina e riboflavina em relação ao controle. Concluíram que o aumento na concentração de vitaminas devido a germinação é de importância nutricional para pessoas que preferem intensificar naturalmente os nutrientes para o enriquecimento do alimento.

MARERO et al. (1991a) verificaram que a germinação diminuiu o conteúdo de tocoferóis de cereais, especialmente o de δ -tocoferol. Sugerem que os tocoferóis podem ter sido concentrados na área do germe e utilizados durante a germinação.

As variações nos teores de vitaminas dependem do tipo de cereal, cultivar, qualidade da semente e condições de maceração e germinação. A maioria dos trabalhos, concordam que a germinação geralmente melhora o valor vitamínico. Porém, o aumento quantitativo em cada vitamina pode ser pequeno e o significado prático, em se encontrar os requerimentos nutricionais para as dietas com base em cereais é difícil de ser avaliado, em ensaios de alimentação (CHAVAN & KADAN, 1989).

2.2.2.6. Outros constituintes

O *fitato* está presente em todos os cereais, contém de 50-85% do conteúdo total de fósforo e afeta negativamente a biodisponibilidade de muitos elementos essenciais, tais como cálcio, ferro e zinco. O fósforo fitato não está disponível para absorção humana a menos que os grupos fosfato tenham sido removidos da molécula de inositol (RAVINDRAN et al., 1994 citados por FREDLUND et al., 1997).

A fitase está inativa no cereal seco, mas é ativada quando a umidade aumenta, sua atividade ótima é a 55°C e pH 5,1 (BARTNIK & SZAFRANSKA, 1987). Assim, processos como maceração e germinação frequentemente levam a degradação do fitato e aumento na disponibilidade de minerais (SANDBERG, 1991 citado por FREDLUND et al., 1997).

Visto que o ácido fítico está concentrado no germe e camada de aleurona ou no pericarpo das células dos grãos de cereais, este antinutriente é, portanto, destruído durante a germinação, porque o germe está envolvido fisiologicamente no crescimento da planta. MARERO et al. (1991b) observaram que na preparação da farinha, o conteúdo de ácido fítico diminuiu significativamente devido ao processamento e, o cozimento, para preparação de mingau elaborado com cereais germinados por 96 horas, eliminou totalmente o ácido fítico.

As mudanças nas atividades da fitase e o conteúdo de fitato em cereais foram determinados durante a germinação por BARTNIK & SZAFRANSKA (1987). O teor de fosfitato em trigo foi de 2,84-3,45 mg/g. Este valor diminuiu após 72 horas de germinação para 2,32-2,61 mg/g. A atividade da fitase no trigo aumentou aproximadamente 4,5 vezes, após 4 dias de germinação.

FREDLUND et al. (1997) verificaram redução de 46% do fitato (inositol hexafosfato) em grãos integrais de trigo após incubação em água (pH 6-7) a 55°C por 24 horas e quando tampão acetato (pH 4,8) foi usado a redução foi de 91% e MELLANBY (1950) citado por FREDLUND et al. (1997) encontraram que o fitato em grãos integrais de trigo foi reduzido em 84% após maceração em tampão acetato, pH 4,5 a 45°C por 12 horas. Em trigo moído incubado nas mesmas condições o fitato foi completamente degradado dentro de 1 hora.

ZHOU & ERDMAN (1995) estudaram os efeitos do ácido fítico na saúde, verificando que este tem alguns efeitos protetores, como diminuição do risco de câncer de cólon e redução do colesterol do soro e dos triglicerídios, em ensaios com animais. Além de ser considerado um antioxidante natural e ter funções potenciais na redução da peroxidação lipídica e como preservativo em alimentos.

Os *polifenóis* e *taninos* são conhecidos por inibirem várias enzimas hidrolíticas, como a tripsina, quimiotripsina, amilases, celulase e β -galactosidase. Em adição, eles se ligam com proteínas formando complexos proteína-tanino, tornando a proteína indisponível. (SALUNKHE et al., 1982 citados por CHAVAN & KADAN, 1989).

Os cereais contém quantidades muito pequenas de taninos, mesmo assim, a atividade antitriptica de arroz e milho diminuiu significativamente ($p < 0,05$) durante a germinação por 96 horas. Nenhuma atividade foi encontrada nas amostras de farinhas de arroz e somente traços na farinha de milho. A mais alta atividade antitriptica foi encontrada em leguminosas sem germinar, porém, esta atividade diminuiu significativamente após 96 horas de germinação. O cozimento destruiu a atividade de inibidores de tripsina das farinhas (MARERO et al., 1991b).

Respostas positivas de *atividade fitohemaglutinina* foram encontradas em amostras de arroz, milho e leguminosas sem germinar em uma titulação de 100.000 μ g de amostra/mL. Amostra germinadas por 24 horas mostraram resultados negativos, exceto o milho. Em todos os estágios posteriores de germinação (48, 72 e 96 h) nenhuma atividade de hemaglutinação foi observada (MARERO et al., 1991b).

Com base nas mudanças na composição centesimal, aumentos nos teores de certos aminoácidos essenciais e vitaminas do grupo B, degradação parcial de proteínas e amido, diminuição de fatores antinutricionais, melhora da PER (taxa de eficiência protéica) e RNV (valor nutritivo relativo), bem como melhora no valor biológico e utilização de nitrogênio em ratos, pode ser razoavelmente aceito que o valor nutritivo de cereais seja melhorado pela germinação (CHAVAN & KADAN, 1989).

2.2.4. Efeito da Germinação na Qualidade Tecnológica

O processo de germinação resulta em muitas mudanças fisiológicas, sendo que duas destas mudanças são tecnologicamente muito importantes do ponto de vista do processamento de alimentos. Uma delas é a *formação de enzimas*, através da síntese *de novo* ou reativação de enzimas pré-existentes em estado latente, que causa excessiva degradação dos componentes bioquímicos necessários para produzir um produto final satisfatório, como pão e manifesta seus efeitos diretamente durante o processamento. A segunda mudança é a *degradação das reservas de armazenagem* da planta "*in situ*" e significa que componentes bioquimicamente importantes foram danificados antes do processamento iniciar, por exemplo, se as proteínas do glúten foram danificadas, é comum que ocorra uma deterioração na qualidade do pão (KRUGER, 1994).

A maioria dos estudos em relação ao trigo cita a preocupação com a germinação pré-colheita e os efeitos deletérios na farinha usada para panificação. A germinação no campo tem como principal consequência a perda de rendimento e a deterioração da qualidade da farinha (LUKOW & BUSHUK, 1984; SHARMA et al., 1988).

A diminuição no *rendimento* de farinha total quase sempre ocorre. LEELAVATHI et al. (1990) verificaram uma queda de 68,3 para 62,8 devido a germinação por 72 horas e LUKOW & BUSHUK (1984) e HWANG & BUSHUK (1973) obtiveram resultados semelhantes. SINGH et al. (1987) relataram um aumento de aproximadamente 2% no *rendimento* de farinha na germinação por 48 horas e SHARMA et al. (1988) concluíram que a germinação por 48 horas não afetou o rendimento.

BELÉIA & GROSSMANN (1990) no estudo da germinação pré-colheita de trigo observaram um progressivo aumento da produção de farinha de quebra com o aumento do nível de germinação, devido à hidrólise do endosperma tornar o grão mais friável, permitindo que mais farinha seja produzida pela ação dos rolos de quebra. Quando a germinação foi superior a 20%, as massas tornaram-se pegajosas e difíceis de manusear, resultando em pães com miolo úmido, células do miolo muito abertas e crosta excessivamente escura, o que pode ser atribuído à excessiva degradação do amido, com liberação de açúcares e dextrinas. Conforme SINGH et al. (1987), a alta produção de gás, a partir dos açúcares fermentáveis, aliada à fragilidade do glúten, seria a responsável pelas células abertas.

A *cor do miolo* de pães tornou-se mais escura e a textura granulosa com níveis mais altos de germinação. O miolo de pães feitos com farinhas de trigo extensivamente germinado foi descrito como pegajoso e gomoso devido a uma excessiva quebra de amido (IBRAHIM & D'APPOLONIA, 1979 citados por LORENZ, 1980).

Farinhas de trigo de grãos germinados, tem mostrado efeitos prejudiciais na massa, nas propriedades do pão e pastas alimentícias. Estes problemas são atribuídos ao excesso de atividade de α -amilase formada durante a germinação (LORENZ, 1980). Houve uma diminuição na *qualidade de pães* feitos com 100% de farinha de trigo germinado, o volume e a qualidade global do pão diminuíram proporcionalmente com o aumento do período de germinação. A adição de 5% de farinha germinada, no entanto, melhorou o volume do pão sem afetar outras características (RANHOTRA et al., 1977).

SHARMA et al. (1988) germinaram trigo em laboratório por 24 e 48 horas, produzindo misturas com farinha de trigo comercial em várias proporções. A mistura com 10-30% de grãos germinados produziu substancial melhora no *volume* de pães e bolos, porém, biscoitos não foram afetados pela mistura.

BARTNIK & SZAFRANSKA (1987) sugeriram a possibilidade de utilização de grãos germinados como uma fonte potencial de *fitase* para aumentar a hidrólise de fitato durante a panificação, especialmente de pães preparados com materiais ricos em fitato, como farinha com alta taxa de extração, farelo, germe, farinha de soja, concentrados de soja e trigo, etc. Porém, concluíram que embora a atividade da fitase aumente extensivamente durante a germinação dos grãos, esta atividade não causa uma correspondente hidrólise do fitato porque durante a fermentação da massa (pH 6,7/ 30°C), nem o pH, nem a temperatura são ótimas para a atividade da fitase (pH 5,1/ 55°C).

A *capacidade de absorção de água* dá uma indicação da quantidade de água disponível para a gelatinização. Uma menor capacidade de absorção é desejável para tornar o produto mais fino quando disperso em água (KULKARNI et al., 1991).

LEELAVATHI et al. (1990) observaram pelas características farinográficas de farinhas brancas de trigo que ocorreu uma redução na capacidade de absorção de água de 62,3 para 55,0% durante a germinação por 72 horas.

LORENZ & KULP (1981) propuseram a modificação de amidos de milho, cevada e tritcale pela germinação dos grãos antes do isolamento do amido. A extensão da modificação dependeu do tempo de germinação. A *capacidade de ligar água* dos amidos diminuiu inicialmente e então aumentou novamente com tempos de germinação mais longos. O poder de entumescimento diminuiu, enquanto a solubilidade e a suscetibilidade enzimática dos amidos aumentaram com a germinação. Estes amidos gelatinizaram numa temperatura mais baixa e numa faixa mais estreita do que os amidos de cereais não germinados. Valores de “Falling Number” (FN) e viscosidade amilográfica diminuíram devido a germinação dos grãos antes do isolamento do amido.

LEELAVATHI & HARIDAS-HAO (1988) obtiveram valores de *FN* de 422 para farinha integral de trigo e 62 para FITG e LEELAVATHI et al. (1990) observaram que os valores de *FN* diminuíram suavemente na maceração do trigo por 16 horas, de 492 para 301 e a germinação por 24 horas diminuiu o valor para o mínimo de 62. LORENZ & VALVANO (1981), LUKOW & BUSHUK (1984) e SHASHIKUMAR et al. (1993) também chegaram as mesmas constatações.

As farinhas de cereais germinados apresentam baixa viscosidade, porque, os carboidratos complexos são hidrolisados em açúcares mais simples durante a germinação. Os açúcares são facilmente disponíveis para a absorção e a quantidade de energia e densidade total de nutrientes obtida por unidade de volume de alimento aumenta. Isto pode ser benéfico

para pessoas com limitada capacidade digestiva e que não podem comer muito para obter suas necessidades de nutrientes (ASIEDU et al., 1993).

Em países em desenvolvimento, os alimentos infantis são geralmente muito espessos e portanto, freqüentemente diluídos com água antes de serem dados às crianças, a conseqüente baixa densidade energética de tais alimentos levam a reduzida ingestão de calorias e proteína e é uma importante causa de falta de crescimento na infância (dos 6 meses aos 2 anos de idade) (LATTA & ESKIN, 1980).

A viscosidade das farinhas germinadas pode ser reduzida a qualquer nível desejado dependendo da extensão da germinação, tornando o processo especialmente adequado para elaboração de alimentos para crianças que estão passando de uma dieta líquida (leite materno) à uma dieta semi-sólida branda (DESIKACHAR, 1980; MOUSSA et al., 1992). A viscosidade dos alimentos infantis dentro da faixa de 1000 e 3000 cps (centipoises), na qual o mingau varia de um estado líquido a semi-sólido, isto é, "free-flowing", é considerada ideal para alimentação de crianças após o desmame (MOSHA & SVANBERG, 1983 citados por MARERO et al., 1988a).

GOLPADAS et al. (1988) estudaram a produção de um alimento rico em amilase à base de trigo, observando que o processo é simples e barato podendo ser facilmente transferido do laboratório para nível caseiro em regiões pobres. Contudo, a tostagem ($80\pm 4^{\circ}\text{C}$) dos grãos germinados foi necessária e a farinha rica em amilase tostada teve capacidade amilolítica mais do que suficiente para reduzir a densidade dos mingaus tradicionais.

Outros autores também produziram farinhas ricas em amilase a partir de grãos germinados para adição em alimentos infantis com redução da viscosidade: JOHN & GALPADAS (1988) e WAHED et al. (1994) à base de trigo; PEDERSEN et al. (1989) à base de cevada; GOLPADAS et al. (1986) à base de arroz e MALLESHI et al. (1989) e KULKARNI et al. (1991) à base de sorgo e "cowpea".

A germinação torna o grão mais friável e o *tamanho de partícula* da farinha diminui. Conforme KULKARNI et al. (1991) o tamanho de partícula é um aspecto importante de qualquer mistura granular que requer reconstituição com água. Nos tamanhos de partículas menores, a área mais superficial está disponível para a absorção de água. Um pó mais fino tende a formar mais grumos e tomar mais tempo e energia para fazer uma boa dispersão. As partículas muito grandes tornam a dispersão mais grosseira. Uma ótima distribuição do tamanho de partícula é essencial para que se obtenha a melhor aceitabilidade. Assim, os alimentos infantis comerciais produzidos com tamanhos de partícula maiores que 250μ produziram menos grumos do que tamanhos menores quando misturados em água.

Além disso, segundo LARSSON & SANDBERG (1995) o “flavour” desenvolvido pelos procedimentos de maceração de cereais é também importante na produção de alimentos mais atraentes: um gosto mais aceitável pode ser desenvolvido.

2.2.5. Farinha Integral de Trigo Germinado (FITG)

A farinha integral é o produto resultante da moagem do cereal limpo, com extração máxima de 95% e teor máximo de cinzas de 1,75% (BRASIL, 1978).

FINNEY & RUBENTHALER (1979) empregaram farinha integral de trigo maltado como suplemento na produção de pães. O aumento do tempo de germinação diminuiu o tempo de fermentação e o tempo de descanso. O volume do pão e outras propriedades de panificação diminuíram com o aumento dos níveis de farinha integral de trigo germinado.

LEELAVATHI & HARIDAS-RAO (1988) utilizaram farinha integral de trigo germinado para produzir “chapati” (que segundo BENDER [s.d.], é um produto panificado semelhante a um “panqueca chata”, consumido na Índia e Paquistão). Observaram pela granulometria, que o trigo tornou-se mais friável com a germinação (maior quantidade de partículas finas). As características químicas da farinha mostraram que o conteúdo de glúten foi reduzido durante a germinação de 9,4 para 8,8 %, provavelmente, devido à degradação durante a germinação; os açúcares redutores e a atividade diastática aumentaram no trigo germinado.

A farinha obtida de trigo germinado necessitou menos água (59,4%) do que a farinha integral controle (68,6%) para preparar a massa de “chapati”; conseqüentemente, o rendimento de “chapati” foi menor. A menor absorção de água foi, possivelmente, devido à degradação do glúten bem como da perda de carboidratos. Chapati feito com trigo germinado armazenado por 4 dias apresentou melhor textura e aceitabilidade global, provavelmente devido ao maior teor de açúcares e dextrinas que conferem maior capacidade de reter água (LEELAVATHI & HARIDAS-RAO, 1988).

Os pesquisadores da Embrapa-CNPSA de Concórdia-SC, usaram o trigo germinado no campo (cultivar EMBRAPA 16) para rações de suínos e aves, não encontrando interferência do grau de germinação no desempenho dos animais (PIENIZ et al., 1996; LIMA et al., 1998). A composição química em base úmida do trigo com 14% de grãos germinados foi: 86,99% de matéria seca (88,45% do trigo controle), 12,82% de proteína bruta (11,03% controle), 1,35% de extrato etéreo (1,57% controle) e 3,20% de fibra bruta (2,91% controle).

2.3. EXTRUSÃO

2.3.1. O Processo de Extrusão

Entre os processos empregados a nível industrial para produção de farinhas pré-cozidas destaca-se a extrusão termoplástica. O processo de extrusão H.T.S.T. (altas temperaturas, tempos curtos) é uma tecnologia que teve origem na indústria de plásticos e muitos dos modelos e teorias foram desenvolvidos com polímeros (HARPER, 1981).

O extrusor de rosca única foi primeiramente aplicado no processamento de alimentos em 1935, para extrusão contínua de pastas alimentícias. Desde então, tem sido aumentado grandemente o uso de extrusão na indústria de alimentos, particularmente naqueles processos que requerem cozimento ou gelatinização em algum estágio, como na preparação de "snacks", cereais, pastas, produtos de confeitaria, alimentos animais, suplementos protéicos e análogos a carne (ROSSEN & MILLER, 1973).

O extrusor de alimentos tem sido descrito como um reator de fluxo contínuo que trabalha a altas temperaturas e pressões em combinação com a força de cisalhamento e, conteúdos de umidade relativamente baixos, capaz de processamento de biopolímeros e misturas de ingredientes (CHEN et al., 1991).

De acordo com EL-DASH (1981), a extrusão termoplástica de alimentos é definida como o processo contínuo no qual o cisalhamento mecânico é combinado com calor para gelatinizar amido e desnaturar materiais protéicos, como consequência eles são plastificados e reestruturados para obtenção de produtos com novas texturas e formas. As funções do extrusor de alimentos incluem, além da gelatinização/cozimento, quebra molecular, mistura, esterilização, dar forma e inflamento/secagem (ROSSEN & MILLER, 1973).

O uso do processo de extrusão apresenta inúmeras vantagens: versatilidade, alta produtividade, baixo custo, produtos com formas variadas, alta qualidade por evitar perdas de nutrientes, produção de novos produtos e principalmente, não produzem efluentes (HARPER, 1979). Através de simples passagem pelo aparelho, materiais brutos podem ser convertidos em produtos completamente expandidos ou em produtos semi-acabados, se necessário (FLICKINGER, 1991). Os resultados dependem do tipo de extrusor usado, do tipo de produto extrusado e dos parâmetros de extrusão considerados (ANDERSSON et al., 1981).

Apesar das muitas vantagens do processo de extrusão, o seu controle é complicado devido a natureza complexa dos alimentos e às inúmeras variáveis envolvidas (VILELA & EL-DASH, 1987). As variáveis do processo de extrusão que controlam diretamente os

atributos de qualidade do produto são chamadas *variáveis independentes* ou *fatores*, já as *variáveis dependentes* ou *respostas*, mudam como consequência das variáveis independentes (HUBER, 1991). Portanto, certas características do produto final podem ser melhor controladas por uma escolha adequada dos parâmetros de extrusão (MEUSER, 1994).

As *variáveis independentes* compreendem os ingredientes alimentares, umidade da matéria-prima, geometria do parafuso, configuração da matriz, velocidade do parafuso, temperaturas das jaquetas, pré-condicionamento (aquecer com vapor ou umedecer) e taxa de alimentação e as *variáveis dependentes* incluem viscosidade, taxa de cisalhamento, taxa de fluxo, pressão, energia, tempo de residência, temperatura e características do produto (HARPER, 1981).

Entre as características do produto encontramos, conteúdo de umidade final (que afeta a vida de prateleira e estabilidade), expansão (que afeta volume, tamanho e forma), solubilidade (influenciada pela aderência e coesão), absorção (de água, leite, gordura), cor (claridade), sabor (forte, suave, rançoso) (HUBER, 1991), densidade (razão da massa pelo volume), textura (sensação na boca, estrutura da célula, é a combinação de propriedades como fraturabilidade, dureza, coesividade, adesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade) (HARPER, 1981).

Os modelos de extrusores são variados, como também é variado o tipo de produto que eles produzem. Apesar destas diferenças, o processo de extrusão HTST pode ser pensado, como ocorrendo em 3 fases, as quais correspondem as seções ou zonas apropriadas do parafuso do extrusor. O material a ser extrusado entra primeiro na *seção de mistura*. Nenhum cozimento é iniciado, sua função é misturar o material alimentado, comprimir para preencher os espaços que circundam o parafuso e conduzir uniformemente o material. A próxima *seção* é a *de transição*. A pressão, taxas de cisalhamento e temperatura aumentam rapidamente nesta seção, no final o material está com 100°C ou mais. Na última seção em geral as temperaturas geralmente continuam a aumentar. O parafuso comprime e mistura adicionalmente o produto, para assegurar que ele deixará a matriz homogeneamente. A rápida saída para temperatura ambiente e queda da pressão causam evaporação da umidade do extrusado, expandindo o produto. A quantidade de água perdida durante o processo varia, dependendo primariamente da temperatura da última seção e da geometria da matriz. Em geral, aproximadamente 7 a 8% de umidade é perdida (FAUBION et al., 1982).

A observação do desenvolvimento de farinha de trigo na zona de cozimento pode ser vista na Figura 3.

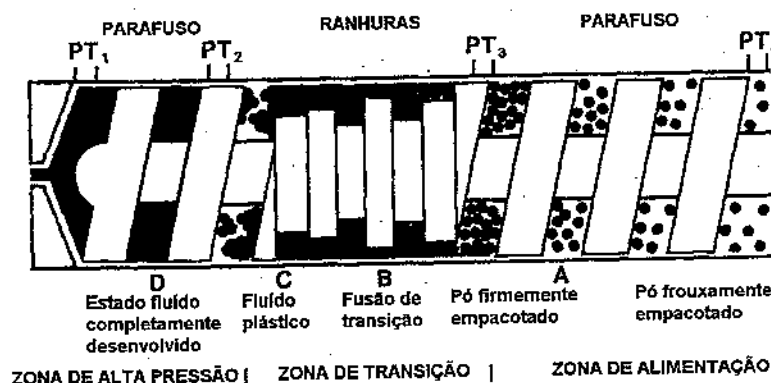


Figura 3. Observação do desenvolvimento de farinha de trigo na zona de cozimento
FONTE: Adaptado de GUY (1989)

2.3.2. Efeito da Extrusão na Composição Química e na Qualidade Nutricional

As influências da extrusão na composição química e na qualidade nutricional de alimentos e rações alimentares pode ter efeitos positivos e negativos. Revisões sobre as mudanças químicas que afetam a nutrição durante a extrusão foram publicadas por CHEFTEL (1986), CAMIRE et al. (1990), KOKINI (1993). A **Tabela 2** resume estas mudanças.

Tabela 2. Efeitos da extrusão termoplástica

EFEITO EM:	POSITIVO	NEGATIVO
Carboidratos	Modificação do amido Aumento da digestibilidade Desenvolvimento de “flavour”	Reação de Maillard Hidrólise
Proteínas	Aumento da digestibilidade Desnaturação	Destruição de aminoácidos Reação de Maillard, ligações cruzadas Formação de lisinoalanina
Lipídios	Aumento da digestibilidade Formação de complexo lipídio-amido	Aumento da rancidez Destruição de PUFAS
Fibras	Aumento da digestibilidade Decréscimo de volume Destruição de fitatos	Aumento da digestibilidade Decréscimo de volume
Vitaminas		Destruição
Minerais	Aumento da biodisponibilidade	
Microrganismos	Destruição	
Enzimas	Inativação, p.ex. lipase, peroxidase, lipoxigenase, mirosinase, urease	Inativação, p.ex. amilase, fitase
Fatores antinutricionais	Inativação, p.ex. inibidores de tripsina, lectinas	
Componentes tóxicos	Inativação, p.ex. glucosinolato, gossipol, glicocalcóides, aflatoxina	
“Flavour”	Redução de “flavours” indesejáveis	Perda de “flavours” desejáveis

FONTE: KILLEIT (1994)

2.3.2.1. Amido

O amido é o principal componente de alimentos a base de cereais, que são produzidos por diferentes processos, entre eles a extrusão. Neste processo, os grânulos de amido são gelatinizados e/ou retrogradados e tem grande efeito na qualidade, especialmente na textura.

Os grânulos de amido sofrem gelatinização e fusão, por ação do calor e umidade nas pontes de hidrogênio entre as cadeias polissacarídicas firmemente ligadas na estrutura do grânulo. Sob condições de excesso da água, as pontes de hidrogênio nas regiões amorfas do grânulo, menos ordenadas, são rompidas primeiro, permitindo que a água se associe com grupos hidroxila livres. Isto é notado pela mobilização da cadeia polimérica e pode ser chamado transição vítrea, Tg. A água leva ao entumescimento e à aberturas adicionais da estrutura do grânulo. A fusão da fração cristalina resulta num desaparecimento completo da birrefringência, a qual é irreversível. O colapso final do grânulo é notado pela liberação dos conteúdos gelatinizados dentro do meio de cozimento. A viscosidade do meio aumenta rapidamente até que a maioria dos grânulos esteja desmanchada, resultando em um produto opaco (CAMIRE et al., 1990).

Em resumo, a principal mudança que ocorre no amido durante o processo de extrusão é a ruptura das regiões cristalinas no grânulo, seguida pela perda de integridade e, no caso dos amidos de cereais, a formação de complexos lipídio-amilose (MITCHELL & AREAS, 1992), que diminuem a digestibilidade e a solubilidade dos amidos cozidos (GALLOWAY et al., 1989).

Os lipídios polares interagem com as cadeias lineares de amilose para inibir o entumescimento e a hidratação do grânulo. Este efeito está relacionado ao comprimento da cadeia hidrocarbonada: cadeias curtas de lipídios polares podem acelerar a taxa de gelatinização, enquanto cadeias médias e longas inibem o entumescimento dos grânulos (CAMIRE et al., 1990). Extrusados completamente gelatinizados podem ter solubilidade de 80 a 90%, o que pode apresentar uma sensação de goma no paladar. O uso de lipídios na extrusão parece ter algum potencial para melhorar a textura dos extrusados à base de amido, por diminuir a solubilidade em água e modificar o perfil de viscosidade (MERCIER & FEILLET, 1975; CHEFTEL, 1986).

Os conteúdos de amilose e amilopectina são conhecidos por terem um amplo efeito na expansão do extrusado. Cereais com baixos níveis de amilose tem propriedades de expansão superiores aos ricos em amilose. As proteínas podem influenciar a gelatinização do

amido, assim o glúten de trigo aumenta a absorção de água e a gelatinização é maior (CAMIRE et al., 1990).

De acordo com CHEFTEL (1986), as modificações físico-químicas nos grânulos de amido e constituintes devido a extrusão, levam a mudanças reológicas e texturais e, aumento da digestibilidade e disponibilidade como uma fonte de energia.

2.3.2.2. Proteínas

De acordo com MITCHELL & AREAS (1992), durante o processo de extrusão as mudanças estruturais nas proteínas ocorrem na seguinte sequência: desnaturação, associação, ruptura de algumas ou todas associações pelo calor e cisalhamento para formar uma solução concentrada ou fase fundida, possível formação de algumas ligações covalentes a altas temperaturas, formação de ligações não covalentes e pontes dissulfeto sobre resfriamento e, transição de regiões amorfas para o estado vítreo se o conteúdo de umidade for suficientemente baixo.

A melhora na digestibilidade protéica devido a desnaturação é a principal modificação físico-química e a diminuição da disponibilidade de lisina devido a reações de Maillard é a principal mudança química que ocorre devido a extrusão (CHEFTEL, 1986).

A desnaturação é qualquer mudança na conformação de uma proteína que não envolve quebra de ligações peptídicas. Tipicamente, grupos hidrofóbicos são expostos durante a desnaturação, resultando numa diminuição da solubilidade da proteína em soluções aquosas. A desnaturação expõe novos sítios para o ataque enzimático, melhorando assim a digestibilidade.

A reação química entre açúcar redutor, como glicose, frutose, lactose ou maltose e, um grupo amino livre ou um aminoácido, geralmente do grupo ϵ -amino de lisina, tem importantes consequências nutricionais e funcionais. Esta reação conhecida como escurecimento não enzimático, é na realidade uma série de reações com uma ampla variedade de compostos resultantes. Durante a extrusão, estas reações são favorecidas pelas condições de alta temperatura e cisalhamento, em combinação com baixa umidade. O amido e açúcares não redutores, como a sacarose podem ser hidrolisados durante a extrusão para formarem açúcares redutores. Isto foi sugerido de ser a causa da perda de lisina nas farinhas extrusadas (CAMIRE et al., 1990).

O efeito do processo de extrusão no valor nutricional das proteínas de farinha de trigo e farinha integral de trigo foi estudada por BJÖRCK & ASP (1984), que encontraram

pela análise de aminoácidos uma retenção de lisina de 63 a 100%. Sugerem que a perda de lisina sob condições severas de processamento é consequência da formação de carboidratos redutores através da hidrólise do amido (ou seja, devido a dextrinização do amido), que podem participar da Reação de Maillard.

De acordo com ANDERSSON et al. (1981) um aumento na taxa de cisalhamento durante a extrusão de uma mistura amido/glúten/farelo levou também a um aumento do gosto de queimado, o que pode corresponder a níveis mais altos de compostos de Maillard e, conseqüentemente menores teores de lisina.

KOKINI et al. (1994) desenvolveram diagramas de estado para proteínas de cereais que permitem predizer as fases do material que podem ser esperadas durante o processo de extrusão. Estes diagramas descrevem o conteúdo de umidade e região de temperatura na qual cada componente protéico pode sofrer a reação apropriada, assim em produtos em que a crocância é necessária pode-se conhecer a região vítrea, pode-se saber também os estados físicos da glutenina durante a extrusão e o armazenamento.

2.3.2.3. Lipídios

Teores elevados de lipídios previnem a expansão dos alimentos extrusados, que contém, na maioria das vezes, menos de 6 a 7% de lipídios logo após a extrusão. Níveis baixos (aproximadamente 5%) promovem uma extrusão constante e melhoram a textura (CHEFTEL, 1986).

Quando lipídios ou alimentos contendo lipídios são aquecidos na presença de oxigênio, sofrem oxidação devido a degradação dos ácidos graxos. Os radicais livres produzidos nestas reações de oxidação podem reagir com proteínas, vitaminas ou outros constituintes e reduzir a qualidade nutritiva do alimento. Contudo, a destruição de sabor e cor por estas reações são as principais perdas nutricionais que podem ocorrer (LILLARD, 1983).

Assim, o valor nutricional dos lipídios poderia ser afetado durante a extrusão, como resultado de oxidação, hidrogenação, isomerização ou polimerização. De acordo com MAGA (1978) citado por CHEFTEL (1986), a extensão de hidrogenação e isomerização cis-trans de ácidos graxos durante a extrusão é muito pequena para ser nutricionalmente significativa. A inativação de lipase e lipoxidase durante a extrusão ajuda a proteger contra a oxidação durante o armazenamento, mas a porosidade dos extrusados é prejudicial com respeito a rancidez. A extrusão reduz a extratibilidade de lipídios, o que pode ser em parte devido a formação de complexos lipídio-amilose (CHEFTEL, 1986).

2.3.2.4. Outros constituintes

Os *açúcares* tendem a ligar a água necessária para a gelatinização do amido. Portanto, o tempo e a temperatura necessários para gelatinizar os amidos em produtos extrusados pode aumentar. O açúcar pode também complexar-se com proteínas, causando reações de escurecimento, contudo as temperaturas de extrusão são normalmente baixas o suficiente e as umidades altas o bastante para que as reações de escurecimento não sejam um problema durante a extrusão. Os açúcares podem também ser usados para controlar a atividade de água em produtos extrusados devido sua natureza hidrofílica (HUBER, 1991).

A biodisponibilidade dos *minerais* é variável e a extensão pela qual a extrusão pode afetar sua biodisponibilidade é ainda incerta. A influência da extrusão na absorção mineral é complexa devido a muitos fatores que afetam a absorção (CAMIRE et al., 1990).

As mudanças químicas nos constituintes das *fibras* são complicadas pelos muitos métodos de análise. Entretanto, a extrusão não muda os níveis significativamente, apenas tem-se notado um leve aumento na fibra solúvel (BJORCK et al., 1984).

Enquanto a fibra possui efeitos nutricionais benéficos, consumo em excesso pode levar a balanço negativo de minerais. Os *fitatos* são comumente associados com a fibra alimentar e tem sido mostrado que as fibras podem complexar quantidades significativas de minerais sob certas condições de pH (CAMIRE et al., 1990). Foi encontrada uma redução de 13-35% no conteúdo de fitato, após a extrusão de uma mistura de glúten, amido e farelo de trigo (ANDERSSON et al., 1981).

As *enzimas* dos farelos de sementes (contém lipases, peroxidases e outras enzimas), são inativadas com sucesso pela extrusão, o que é crucial para o uso dos farelos em alimentos. Em geral, aumentando a temperatura de extrusão, diminui a atividade enzimática, mas há diferenças nos padrões de inativação de enzimas termolábeis e termoestáveis (KILLEIT, 1994).

O mesmo autor verificou em relação às *vitaminas* que considerável degradação pode ocorrer. A retenção de vitaminas durante a extrusão diminuiu com: aumento da temperatura e da velocidade do parafuso e diminuição da umidade e do diâmetro da matriz.

As *vitaminas hidro e lipossolúveis* são caracterizadas pela variabilidade de seu comportamento frente ao calor, oxigênio e luz (GUERIVIERE et al., 1985). As vitaminas mais sensíveis ao processo de extrusão são A, E, C, B₁ e ácido fólico, enquanto B₂, B₆, B₁₂, niacina, pantotenato de cálcio e biotina são mais estáveis (SCHLUDE, 1987).

Entre as vitaminas lipossolúveis, a vitamina A ou retinol parece ter sua estabilidade favorecida com o aumento da velocidade do parafuso do extrusor. Notou-se destruição mínima de tocoferol em extrusados de farinha de soja rica em gordura. Os tocoferóis podem também ser adicionados antes da extrusão para proteger materiais sensíveis a oxidação durante o processo (CAMIRE et al., 1990).

As vitaminas hidrossolúveis são sensíveis ao calor e mudança de pH. Porém, conforme HARPER (1988) citado por CAMIRE et al. (1990) as perdas destas vitaminas devem ser pequenas porque materiais termolábeis são capazes de resistir as condições de extrusão HTST. As vitaminas B₆ e B₁₂, niacina, pantotenato de cálcio e biotina, parecem ser afetadas minimamente pelas condições de extrusão. A vitamina C é facilmente destruída, devendo ser adicionada após a extrusão (CAMIRE et al., 1990).

Os alimentos extrusados são considerados *microbiologicamente* estáveis devido sua reduzida umidade e sua baixa atividade de água (LIKIMANI et al., 1990). De acordo com CAMIRE et al. (1990), o calor produzido durante a extrusão destrói os microrganismos presentes no material cru. A extrusão é muito efetiva na redução da contagem total em placa especialmente no número de *E. coli* por 100g. Testes de sobrevivência de esporos de *Bacillus stearothermophilus*, que é usado como um indicador da habilidade de um processo térmico para destruir bactéria, comprovaram o efeito esterilizante da extrusão.

A extrusão reduz a *alergenicidade* dos alimentos por desnaturação das proteínas que causam reações alérgicas (CAMIRE et al., 1990). Também diminui os níveis de alquilresorcinóis, compostos isolados de grãos cereais, que inibem o crescimento de várias espécies animais (LORENZ & AL-RUQAIE, 1992).

Nutricionalmente, este processo tem efeito positivo na digestibilidade dos alimentos e na inativação de substâncias indesejáveis e/ou fatores tóxicos. É usado na preparação de alimentos nutricionalmente enriquecidos ou balanceados (CAMIRE et al., 1990).

2.3.3. Efeito da Extrusão na Qualidade Tecnológica

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

Segundo MERCIER & FEILLET (1975), a temperatura de extrusão e a umidade da matéria-prima, são as mais importantes variáveis do processo que afetam as características do produto. Na extrusão de griz de milho observaram que à medida que a temperatura de extrusão aumentou, o índice de solubilidade em água (ISA) aumentou. As mudanças no índice de absorção de água (IAA) e na expansão foram similares com valor máximo entre 180 e 200°C. Com o aumento do conteúdo de umidade da matéria-prima (de 10,5 para 28,5%), aumentou o IAA e diminuíram o ISA (de 35 para 20) e a expansão (de 6,2 para 1,5).

WHALEN et al. (1997) observaram que a principal mudança em um material contendo amido durante a extrusão é alguma parte refletida por sua solubilidade e absorção em água. Verificaram uma forte correlação entre os dados de viscosidade medida pelo RVA e o torque, bem como com a expansão de produtos à base de cereais.

Segundo LEWIS (1993) a *densidade aparente* de um produto depende de uma série de fatores como a densidade de seus componentes, a geometria, o tamanho, as propriedades de superfície e o método de medida.

BHATTACHARIA & HANNA (1985) relataram que amidos com uma mistura de 50% amilose e amilopectina apresentaram as melhores características de expansão. Quando o conteúdo de amilose diminuiu, a densidade volumétrica também diminuiu, indicando que a expansão global aumentou.

ALVAREZ-MARTINEZ et al. (1988) verificaram na extrusão de sêmola de milho em temperaturas de 150 à 170°C, uma redução na expansão radial e aumento na axial. LUE et al. (1990) notaram que a adição de fibra, resultou em fraca formação e baixa retenção de bolhas de ar. Conseqüentemente, houve diminuição da expansão radial e um aumento da densidade volumétrica dos produtos.

As mudanças na *viscosidade* necessitam ser levadas em conta, particularmente quando se utilizam processos que implicam aquecimento, esfriamento e homogeneização, porque a viscosidade pode mudar consideravelmente nestas operações. A medida da viscosidade definida como a resistência em fluir é, importante para o controle de qualidade (LEWIS, 1993).

MOORE et al. (1990) mostraram que a viscosidade aparente de massa à base de farinha de trigo extrusada não variou significativamente quando a concentração de farelo aumentou de 0 para 16%, mas diminuiu notavelmente quando o conteúdo de sacarose aumentou de 0 para 18%.

WANG et al. (1993) determinaram a viscosidade a 37°C no RVA em suspensões de trigo integral sem extrusar e extrusado, verificando que as primeiras foram menos viscosas do que as últimas.

A resistência à ruptura do extrusado está relacionada a evaporação de água superaquecida na saída da matriz. Quando esta é instantânea, antes da solidificação da estrutura, confere ao produto uma textura porosa e expandida. Quando é lenta, permite uma solidificação da estrutura antes que ocorra um grau adequado de expansão, o que limita a expansão do produto que tem a sua estrutura compactada (CHANG, 1989).

Um maior teor de fibra produz um extrusado mais compacto com paredes celulares espessas e células de ar pequenas, conseqüentemente, uma maior força de cisalhamento é observada. Para JIN et al. (1995) a força de cisalhamento dos extrusados pode estar relacionada a sua microestrutura. Geralmente, a espessura da célula da parede parece corresponder bem a textura do produto; células da parede mais espessas produzem maior força de cisalhamento.

LI & LEE (1996) encontraram uma dureza de $5,473 \pm 0,407$ kg em extrusados de farinha de trigo comercial (branca) com 14% de proteína, produzidos em extrusor de dupla rosca, com 16% de umidade, 185°C e umidade da farinha após a extrusão 3,87%. Isto pode indicar que os extrusados de farinha integral de trigo germinado são mais duros que estes, provavelmente, em consequência das modificações decorridas da germinação.

2.3.4. Extrusão de Farinhas de Trigo

WANG et al. (1993) extrusaram farinha integral de trigo encontrando pequenas reduções na fibra alimentar total (determinada através de método enzimático-gravimétrico nº32-07, da AACC). A solubilidade protéica diminuiu nas amostras extrusadas, já os teores de amido digerível enzimaticamente e de absorção de água foram mais altos nas amostras extrusadas do que nas sem extrusar. Embora a viscosidade à 95°C da suspensão de trigo integral (determinada no RVA - Rapid Visco Analyser) tenha sido muito mais baixa nas amostras sem extrusar, o mesmo não aconteceu a 37°C, onde foi muito mais viscosa.

RYU & WALKER (1995) observaram o efeito das condições de extrusão em extrusor Brabender, de laboratório de rosca única nas propriedades físicas de extrusados de farinha de trigo. Encontraram um aumento significativo na expansão com o aumento do conteúdo de umidade de 18 para 25%. FAUBION (1980) citado por RYU & WALKER (1995) sugere que os componentes remanescentes da farinha, lipídios e proteína (glúten),

poderiam exercer dois efeitos sobre a expansão de farinha de trigo, competindo com o amido pela água disponível ou interferindo com a capacidade de fusão termoplástica do amido, para expandir ou manter células de ar grandes com paredes finas na saída da matriz do extrusor. Além disso, notaram que a força de quebra diminuiu significativamente com o aumento da temperatura do processo e a densidade volumétrica aumentou quando a temperatura foi elevada de 120 para 130°C, e então dramaticamente declinou nas temperaturas do processo de 140 a 160°C. Esta redução pode ter resultado de um aumento na natureza plástica do glúten acima de 140°C.

DAHLIN & LORENZ (1993a) estudaram a digestibilidade protéica “in vitro” de grãos de cereais extrusados. Foi usado um extrusor Brabender de rosca única, com matriz de 4,76 mm de diâmetro e taxa de compressão de 3:1. Os produtos de trigo mais digeríveis, foram produzidos nas seguintes condições de extrusão: 15% de umidade, temperatura de extrusão de 80/100°C e velocidade do parafuso de 100 rpm. A melhora na digestibilidade “in vitro” do trigo, não foi influenciada pela umidade, houve somente efeito da temperatura de extrusão. Em geral, o aquecimento melhora a digestibilidade das proteínas pela desnaturação, expondo novos sítios para o ataque enzimático.

A digestibilidade de carboidratos “in vitro” de trigo extrusado não respondeu uniformemente aos níveis de umidade e temperatura. Combinações específicas de condições operacionais do extrusor produzem a mais alta digestibilidade. Uma interação significativa entre temperatura e umidade indicou que o aumento mais favorável da digestibilidade para o trigo ocorreu em temperatura do processo de 100/150°C e conteúdo de umidade de 25% (DAHLIN & LORENZ, 1993b).

KIM & ROTTIER (1980) verificaram a modificação de semolina de *Triticum aestivum* em extrusor de rosca única. Notaram que a matéria solúvel e a solubilidade dos carboidratos da farinha aumentaram significativamente com o aumento da temperatura e as proteínas hidrossolúveis diminuíram. A mais alta temperatura de extrusão correspondeu a maior capacidade de absorção de água. Sugerem a aplicação das farinhas extrusadas como ligante para produtos cárneos, em croquetes de carne e em bolos com grande quantidade de ovos.

2.3.4.1. Extrusão de farinha de trigo germinado

Somente dois relatos foram encontrados na literatura sobre extrusão de farinha de trigo germinado, um deles é uma patente alemã de 1980, em que foi produzida farinha integral

pré-gelatinizada para uso como aditivo em panificação; o outro trabalho estudou a produção de extrusados.

Na patente, os grãos de cereais, por exemplo, trigo para panificação, foram germinados, secos em temperatura inferior a 60°C até 18-22% de umidade, moídos grosseiramente e extrusados a aproximadamente 160°C. O produto pode ser então misturado com farinha comum para fazer massa para panificação (WERNER & MERTZ, 1980).

SINGH et al. (1994) estudaram o efeito da temperatura (145, 160, 175 e 190°C) no comportamento de extrusão de farinhas de trigo sem germinar e germinado por 24 e 48 horas, concluindo que as farinhas de trigo germinado podem ser usadas com vantagem na produção de extrusados. Os extrusados de farinha de trigo germinado, apresentaram-se mais macios na textura, tiveram escores de aceitabilidade global significativamente mais altos, maior expansão e menor densidade do que os extrusados de farinha de trigo sem germinar. Por outro lado, aumentando a temperatura além de 160°C, houve uma grande redução no diâmetro de todos os extrusados.

A mais alta expansão dos extrusados feitos com farinha de trigo germinado pode ser devido a quebra de proteínas por enzimas proteolíticas e amido por enzimas amilolíticas durante a germinação (SINGH et al., 1987) causando uma viscosidade mais baixa no fundido pseudoplástico dentro do extrusor e, conseqüentemente uma maior expansão na saída da matriz (SEKHON et al., 1992).

2.4. MODELAGEM DE EXPERIMENTOS

O elemento determinante de aceitação/venda de um novo produto é a qualidade. Dependendo do método usado para desenvolvê-lo e do processo, os novos produtos nem sempre podem refletir a mais alta qualidade.

Um método para evitar problemas potenciais e controlar a produção é modelar a qualidade do produto. Isto está sendo feito através da modelagem de experimentos, que oferece vantagens sobre métodos convencionais e pode ser usada durante o desenvolvimento do produto para obtenção de produtos de melhor qualidade (IFT, 1990).

Os modelos experimentais ainda são novos. Foram desenvolvidos por volta de 1920 por Sir Ronald Fisher, que aplicou modelos estatísticos para pesquisas em agricultura, com sucesso. Desde então, muitos pesquisadores e profissionais tem contribuído para o crescimento do assunto e sua aplicação na indústria (IFT, 1990, JOGLEKAR & MAY, 1987).

A modelagem de experimentos é vista como uma tecnologia de qualidade para encontrar um produto excelente e ao mais baixo custo global possível. É um instrumento para otimizar o produto e o processo, para acelerar o ciclo de desenvolvimento, para reduzir custos, para melhorar a transição dos produtos da pesquisa e desenvolvimento para a manufatura e, para resolver problemas de manufatura (JOGLEKAR & MAY, 1987).

Comparado com técnicas tradicionais, nas quais somente uma variável muda durante um tempo e todas as outras variáveis são mantidas constantes, a modelagem de experimentos oferece várias vantagens: primeiro, é um método que poupa tempo e recursos (o número de ensaios pode ser reduzido), segundo, o modelo pode identificar ótimos verdadeiros, e por último, os modelos experimentais permitem determinar os efeitos das variáveis individuais ou interações entre as variáveis (isto pode revelar certas nuances, algumas possivelmente de importância econômica) (IFT, 1990).

2.5. METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (MSR)

A MSR é a mais popular técnica de otimização em ciência de alimentos, provavelmente pela sua compreensão teórica, alta eficiência e simplicidade (ARTEAGA et al., 1994). É um método estatístico baseado em análise de regressão de dados quantitativos de modelos experimentais, adequada para construir e resolver simultaneamente, equações multivariadas descrevendo a relação das variáveis dependentes para as características de qualidade do produto e para parâmetros do processo e modelo (GIOVANNI, 1983; OLKKU et al., 1983 citados por EERIKAINEN & LINKO, 1989).

A MRS envolve 4 passos básicos: *seleção dos parâmetros do sistema* (variáveis e seus níveis); *formulação do delineamento experimental* (o mais comum é o delineamento central composto rotacional – DCCR); *encontrar o modelo* (DCCR são adequados somente para modelos lineares e quadráticos - testes estatísticos avaliam a validade do modelo, incluindo a falta de ajuste usando os pontos replicatas e a análise de resíduo) e *encontrar as soluções ótimas* (se o modelo for estatisticamente válido pode ser usado para predizer o ótimo do sistema) (ARTEAGA et al., 1994).

Graficamente, o modelo poderia descrever uma superfície tridimensional na qual níveis de 2 variáveis independentes são apresentados no eixos perpendiculares horizontais, e a resposta no eixo vertical. O gráfico bidimensional mostra como a variação em 2 variáveis independentes afetam uma terceira variável dependente. Cada contorno representa um valor

diferente de resposta e mostra os níveis de variáveis independentes responsáveis por aquela resposta (HARPER, 1981; JOGLEKAR & MAY, 1987).

Os gráficos sugerem os níveis ótimos dos fatores ou variáveis independentes necessários para encontrar os atributos específicos dos produtos (JOGLEKAR & MAY, 1987) e são produzidos diretamente com o computador, uma vez que o modelo esteja desenvolvido (HARPER, 1981).

Esta metodologia embora visualmente atrativa, não pode ser automatizada e muitas vezes pode não ser tão eficiente. Além disso, se mais de 2 respostas forem medidas serão necessários um grande número de gráficos. Uma falta de ajuste significativa é, geralmente interpretada como um indicativo de que um modelo mais complexo é necessário para representar adequadamente o comportamento do sistema (ARTEAGA et al., 1994).

THOMPSON (1982) cita dois exemplos em que a MSR pode ser usada: na identificação da influência de técnicas de cozimento na qualidade nutricional de um alimento e no estudo do custo de produção como função do tempo de mistura, temperatura de processamento e composição do produto.

KISSEL (1967) foi um dos primeiros a aplicar MSR para otimizar produtos alimentares. Mais tarde, JOGLEKAR & MAY (1987) usaram um método sequencial para otimizar formulações de bolos, eles reduziram o número de ensaios de 77 feitos por KISSEL, para 25, e obtiveram resultados idênticos.

A MSR permite definir níveis ótimos de ingredientes de formulações, sem a necessidade de se testar todas as combinações possíveis. PAYTON et al. (1988) aplicaram MSR, em formulações de pães. ARTZ et al. (1990) usaram a MSR para caracterizar o efeito do processo de extrusão nas propriedades funcionais de formulações com fibra de milho e amido de milho e CHEN et al. (1991) aplicaram a MSR para estudar os efeitos das condições de extrusão nas propriedades sensoriais de extrusados de farinha de milho.

EL-DASH et al. (1983) empregaram a MSR no controle da extrusão termoplástica de amido. VAINIONPÄÄ (1991) estudou e modelou a extrusão de farinha de trigo, centeio, cevada e aveia usando a MSR. JIN et al. (1994, 1995) estudaram o efeito da fibra de soja, sal, açúcar e velocidade do parafuso nas propriedades físicas e microestrutura de extrusados de farinha de milho, através de modelo central composto rotacional da MSR, com 4 variáveis e cinco níveis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. Matéria-prima

Foram utilizados grãos de trigo nacional (*Triticum aestivum* L.), cultivar EMBRAPA 16, lote 126/95 da safra agrícola 1995/96. O trigo, plantado em Não Me Toque, Planalto Médio do Rio Grande do Sul, foi obtido através de colheita automotriz e armazenado em silos. Foi doado pelo Serviço de Produção de Sementes Básicas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa - SPSB), de Passo Fundo - RS. Os grãos foram utilizados imediatamente após a sua chegada em abril de 1996.

A cultivar EMBRAPA 16 foi criada pela Embrapa-CNPT em 1980 e a linhagem utilizada neste trabalho, a PF 86238 foi lançada no mercado em 1992. É uma cultivar de hábito semi-ereto, ciclo curto (141 dias), de estatura média tendendo a alta (89 cm). Apresenta a folha bandeira ereta por ocasião do espigamento e aurículas predominante incolores. A espiga é fusiforme, aristada, semicurta (média: 77,6 mm), semidensa (média: 42,0 mm) e de coloração clara. Apresenta grãos longos, ovalados e de coloração vermelha. Quanto a dureza do grão é classificado como semi-duro. Comercialmente é classificado como superior. Apresenta tendência à germinação na espiga, quando ocorrem chuvas duradouras após a maturação (GOMES et al., 1994; RELATÓRIO DA PESQUISA DO CNPT/Embrapa, 1994).

Quanto a sua qualidade industrial apresenta peso médio do hectolitro (PH) de 74,9 kg/hl (72,9 a 76,9), peso médio de mil grãos de 30,8 g (30 a 31,7), bom potencial de moagem, força geral de glúten classificada como de fraca a intermediária, a relação P/L (pressão máxima de ruptura/extensibilidade) indicou que o glúten apresenta uma variação de extensível a balanceado. Possui elevados tempos de desenvolvimento da massa e estabilidade, e reduzido índice de tolerância da massa (farinograma). Os testes de sedimentação (MS-SDS e Zeleny) confirmaram a variação da força do glúten observadas na alveografia (RELATÓRIO DA PESQUISA DO CNPT/Embrapa, 1994).

3.1.2. Reagentes

Nas determinações químicas foram utilizados reagentes de pureza analítica e de acordo com as especificações requeridas pelos métodos empregados.

3.1.3. Equipamentos

Além da vidraria e aparelhos comuns de laboratório foram utilizados:

- ◆ Agitador horizontal de tubos Brabender;
- ◆ Analisador de textura TA.XT2 (Texture Analyser) com capacidade máxima de 25kg e programa XTRA Dimension (Stable Micro Systems, Haslemere, Surrey, England);
- ◆ Analisador de viscosidade RVA (Rapid Visco Analyser), modelo 3D+ com programa Thermocline for Windows, versão 1.10 (Newport Cientific Pty Ltd, 1996);
- ◆ Aparelho PRODUTEST com peneiras de 14, 35, 60, 80, 100 mesh e fundo;
- ◆ Autoanalisador de aminoácidos BECKMAN 7300;
- ◆ Autoclave vertical LUTZ FERRANDO, modelo 39211;
- ◆ Balança analítica METLER TOLEDO, modelo AB204, com capacidade máxima de 210g;
- ◆ Balança para determinação de umidade por infravermelho AND (Digital moisture balance), modelo AD-4714;
- ◆ Balança semi-analítica METLER TOLEDO, modelo PB3002, capacidade máx. de 3100g;
- ◆ Bomba calorimétrica adiabática tipo PARR, modelo 1261;
- ◆ Banho Dubnoff FANEM, modelo 144 com agitação horizontal;
- ◆ Batedeira Planetária KITCHENAID PROFESSIONAL, modelo K45SS;
- ◆ Centrífuga FANEM, modelo 204-NR, com rotação de 0 a 6000 rpm (0-6963 g);
- ◆ Centrífuga refrigerada FANEM, modelo FR22, c/adaptador de alta velocidade (até 16000 rpm);
- ◆ Colorímetro triestímulo MINOLTA (Minolta Chroma Meter), modelo CR-300, com medida de área de 8 mm;
- ◆ Cromatógrafo gasoso VARIAN, modelo 3400, com detector de ionização de chama (FID) – integrador Varian 4400 - Laboratório de Instrumentação do DTA/FEA;
- ◆ Cromatógrafo gasoso PERKIN-ELMER, modelo Sigma 3B, com detector de ionização de chama (FID)– integrador Perkin-Elmer LCI-100 - Lab. de Óleos e Gord. do DTA/FEA;
- ◆ Cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC), marca SHIMADZU;
- ◆ Destilador de proteínas TECNAL, modelo TE036-E (micro Kjeldahl) e bloco digestor;
- ◆ Determinador de umidade semi-automático BRABENDER (Rapid moisture tester);
- ◆ Espectrofotômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES) em equipamento JARRELL ASH, modelo 975 (Plasma Atomcomp);
- ◆ Espectrofotômetro PERKIN-ELMER, modelo 306;
- ◆ Espectrofotômetro BECKMAN, modelo DV-70;
- ◆ Estufa FANEM, modelo 320 – SE, com circulação (mecânica) forçada de ar (0-300°C);
- ◆ Extrusor de laboratório BRABENDER com rosca única, modelo 20 D/N - GNF 1014/2;
- ◆ Germinador FANEM, modelo 348-ED, com capacidade para 12 bandejas (bandejas plásticas com dimensões de: 6 cm de altura, 34 cm de largura e 39 cm de comprimento);
- ◆ Microcomputador PC-586, scanner de mesa HP Scanjet4c e impressora HP Deskscan850c;
- ◆ Microscópio estereoscópico CARL ZEISS, modelo DRV-4;
- ◆ Microscópio óptico CARL ZEISS, modelo JENAVAL;
- ◆ Microscópio eletrônico de varredura JEOL, modelo JSM T-300;
- ◆ Moinho de facas RENARD (com malha de 3 mm), modelo MFC-180-75-01, nº 5753;
- ◆ Moinho de laboratório TECNAL, modelo TE020;
- ◆ Moinho de martelos fabricado por máquinas TIGRE S.A., tipo CV.2;
- ◆ Moinho de rolos BRABENDER, modelo Quadrumat Senior;
- ◆ Mufla marca FLYEVER - FE30 microprocessada, modelo 2031;
- ◆ Potenciômetro digital DIGIMED, modelo DM20, com compensador de temperatura DMF-N1. Temperatura do potenciômetro regulável de 0 à 100°C e faixa de pH de 0 à 14;
- ◆ Shaker MARCONI (incubadora c/ agitação), modelo Indic 50 (temperatura: -20 à 100°C).

3.2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

O fluxograma de trabalho para produção de farinha integral extrusada de trigo germinado (FIETG) é mostrado na **Figura 4**.

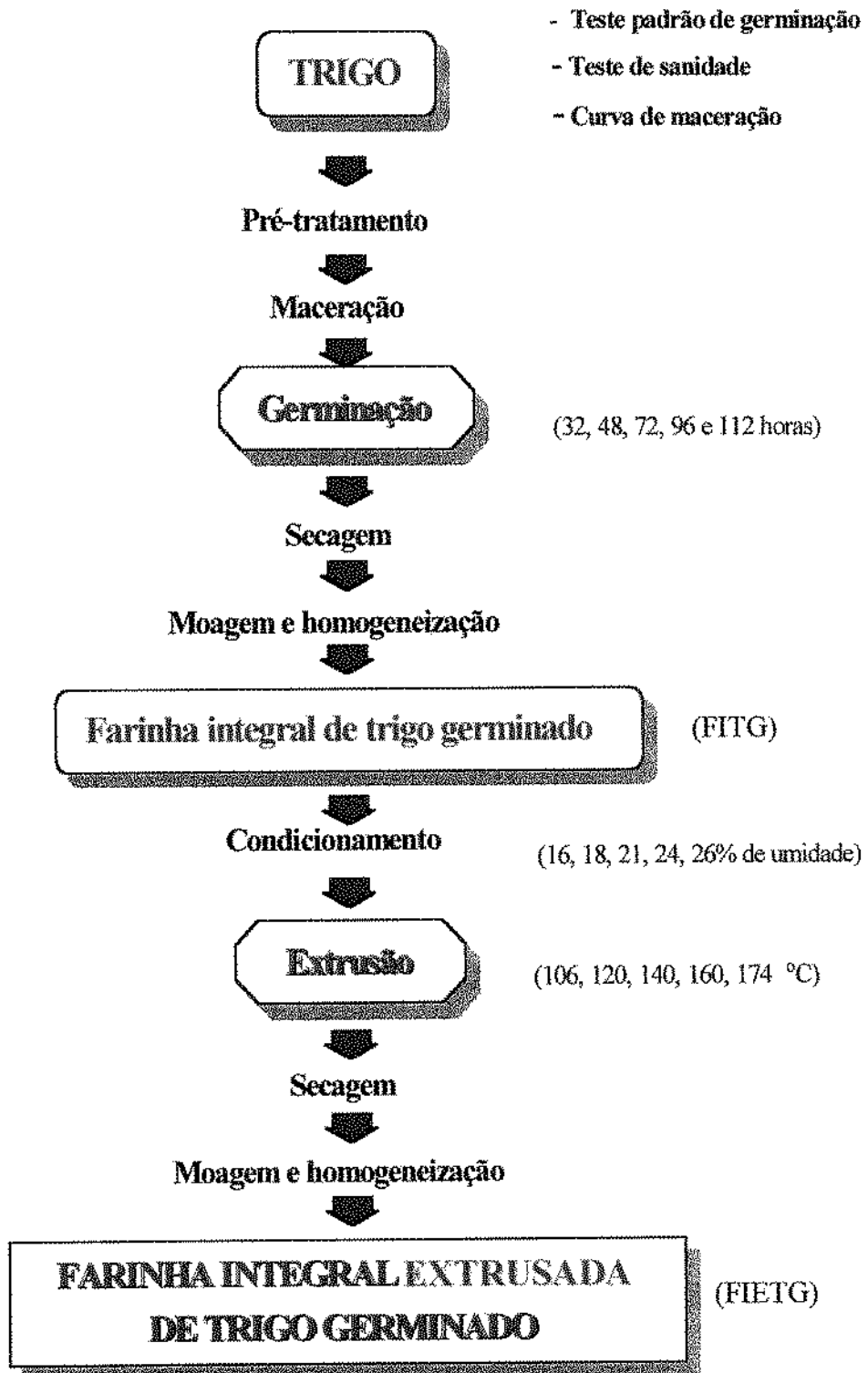


Figura 4. Fluxograma de produção de farinha integral extrusada de trigo germinado (FIETG).

3.2.1. Determinação da Qualidade do Trigo

3.2.1.1. Teste padrão de germinação

Foi realizado de acordo com as Regras para Análise de Sementes, do MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA (1992). Corresponde a porcentagem de plântulas normais obtidas sob as condições e os limites de tempo especificados pelas Regras para Análises de Sementes (RAS).

Para o *Triticum aestivum* L. as condições especificadas são as seguintes: - *substrato*: RP (rolo de papel), EP (entre papel) ou EA (entre areia); - *temperatura em graus Celcius*: 20 ou 15; - *Contagem dias*: primeira= 4º dia; final=8º dia. Neste trabalho, foram usados rolos de papel com 8 repetições de 50 sementes (24 folhas).

3.2.1.2. Teste de sanidade

O método indicado nas RAS para amostras de sementes de trigo (*Triticum aestivum*) é papel de filtro, com ou sem congelamento; amostra de trabalho de 400 sementes e incubação por 7 dias a 20 ± 2 °C, regime intermitente de 12h luz/12h escuro (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA,1992).

Conforme PERETTI (1994) quando se tem muito trabalho, pode-se reduzir o número de sementes a processar (200 no lugar de 400). As análises foram realizadas na CATI-SEAGESP (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de SP), sem agendamento, utilizaram-se 200 sementes. Estas foram colocadas adequadamente espaçadas em placas de Petri, contendo papel de filtro umedecido com água destilada (as 200 sementes foram distribuídas em 8 placas com 25 sementes cada). Este teste foi realizado especificamente para identificação de fungos.

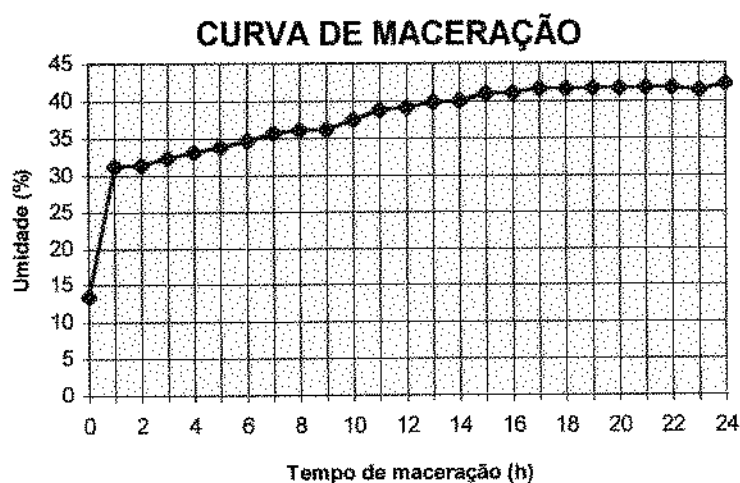
Foi feita a inibição da germinação por congelamento mantendo-se as placas de Petri contendo as sementes por 24 horas à temperatura de incubação e a seguir por 24 horas a -18°C, transferindo-as novamente após esse período, para a temperatura de incubação. No período de incubação não foi incluído o tempo que antecede o congelamento das sementes (período de absorção de água). A avaliação foi feita no microscópio estereoscópico, observando-se as estruturas dos fungos, sendo necessário, muitas vezes o uso do microscópio composto para uma identificação mais segura. Os resultados da incidência dos fungos encontrados nas sementes foram expressos em porcentagem.

3.2.2. Processo de Germinação

3.2.2.1. Determinação do tempo ideal de maceração do trigo

A etapa de maceração faz com que o grão absorva água rapidamente, facilitando o processo de germinação. Para obtenção da curva de maceração (**Figura 5**), foram colocados 500 g de trigo em um recipiente contendo 1 litro de água (50%). Num período de 24 horas, de hora em hora, retirou-se certa quantidade de grãos do recipiente, triturou-se e a seguir, determinou-se umidade por infravermelho (duplicatas).

Na primeira hora de maceração, observou-se intensa absorção de água, a amostra duplicou seu teor de umidade. Com o decorrer do tempo a absorção foi ocorrendo mais lentamente, até se estabilizar em torno de 17 horas (41,6% de umidade), que foi o tempo ideal de maceração deste trigo, fixado para ser utilizado no presente trabalho.



TEMPO (h)	UMIDADE (%)
t ₀	13,35
t ₁	31,20
t ₂	31,40
t ₃	32,35
t ₄	33,10
t ₅	33,85
t ₆	34,65
t ₇	35,65
t ₈	36,10
t ₉	36,15
t ₁₀	37,50
t ₁₁	38,80
t ₁₂	39,15
t ₁₃	39,85
t ₁₄	40,00
t ₁₅	40,95
t ₁₆	41,10
t ₁₇	41,60
t ₁₈	41,60
t ₁₉	41,65
t ₂₀	41,65
t ₂₁	41,75
t ₂₂	41,80
t ₂₃	41,45
t ₂₄	42,25

Figura 5. Efeito do tempo de maceração sobre o conteúdo de umidade do trigo.

3.2.2.2. Produção de farinha integral de trigo germinado (FITG)

O processo de produção de FITG foi realizado na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI-UNICAMP) e de Engenharia de Alimentos (FEA-UNICAMP), respectivamente, seguindo os seguintes estágios:

- ♦ Imersão do trigo em solução de hipoclorito de sódio a 1% (v/v), por 15 minutos para evitar proliferação de microrganismos;
- ♦ Lavagem com excesso de água, para retirada de resíduos;

- ♦ Maceração em água destilada (50%= 5kg/ 10L água dividido em 5 bacias) à temperatura ambiente, no germinador, por 17 horas (tempo ideal de maceração);
- ♦ Escoamento da água das bacias e colocação do trigo em bandejas em finas camadas, entre folhas de papel de germinação ("Germipel") umedecidos. A quantidade de água para umedecer as folhas de papel foi padronizada através do seguinte cálculo: peso do papel (g) x 2,5 (peso de água para uma folha de papel)= quantidade de água a ser adicionada;
- ♦ Germinação por 32, 48, 72, 96 e 112 horas em germinador FANEM, com umidade relativa maior que 90% e temperatura de germinação constante de 20°C. Foi realizada germinação "entre papéis" em 10 bandejas contendo cada uma 500g de grãos (B.U.);
- ♦ Colocação do trigo germinado em balde para ser levado para a FEA;
- ♦ Distribuição do trigo germinado em 5 bandejas para secagem (em finas camadas);
- ♦ Secagem em estufa com circulação de ar (40-50°C) até umidade <10% (ou <12% na balança infravermelho);

OBS: Esta primeira parte foi realizada em diversas etapas, devido à capacidade do germinador (5kg para cada etapa). Para os tempos de 32h e 112h, foram germinados 5kg de trigo; para 48h e 96h, 15kg e para 72h, 25kg, que foram homogeneizados antes da moagem.

- ♦ Moagem em moinho de martelos;
- ♦ Moagem em moinho Brabender - Quadrumat Senior, passando duas vezes pelo moinho de quebra, sem passar pelas peneiras;

OBS: Com fins experimentais e visando um aproveitamento integral, os grãos de trigo germinados foram moídos sem a retirada do coleóptilo e das radículas e as farinhas foram utilizadas com todos os tamanhos de partículas;

- ♦ Homogeneização e armazenamento das farinhas integrais de trigo germinado (FITG) em sacos de polietileno até o momento do condicionamento para a extrusão.

3.2.3. Processo de Extrusão

3.2.3.1. Equipamento

Foi empregado extrusor de laboratório BRABENDER de rosca única (movido através do Brabender Do-Corder com motor D.C., de variação contínua de velocidade), com as seguintes características:

- ♦ *Camisa com ranhuras internas, longitudinais e retilíneas:* apresenta 3 zonas distintas para temperatura. Estas zonas são aquecidas por resistência elétrica e a temperatura controlada por termostatos, inseridos nas diferentes zonas e ligados a um registrador. Outros dispositivos como circulação de água fria na primeira zona e de ar comprimido na segunda e terceira zonas, evitam elevações de temperatura, provocadas pelo atrito;
- ♦ *Rosca sem fim:* com 380 mm de comprimento por 19 mm de diâmetro (relação 20:1), taxa de compressão de 3:1 e passo unitário;
- ♦ *Dinamômetro Do-Corder:* acoplado ao extrusor, para controlar a velocidade do parafuso;
- ♦ *Registrador de torque do eixo do motor:* para acompanhar as mudanças do valor de torque durante o processamento, através de gráfico;
- ♦ *Alimentador:* instalado na parte inicial e superior da camisa, tipo cônico, provido de parafuso alimentador com velocidade variável;
- ♦ *Matriz cilíndrica:* com diâmetro de 6 mm, fixada na extremidade da camisa.

3.2.3.2. Condicionamento do material para extrusão

A quantidade de água destilada necessária para atingir a umidade requerida (delineamento experimental) foi calculada após a determinação da umidade inicial do material, por gravimetria. Foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Q \text{ (mL)} = \left(\frac{100 - U_i}{100 - U_f} - 1 \right) \times m$$

onde: Q = quantidade de água à adicionar (mL)

U_i = umidade inicial do material

U_f = umidade final desejada

m = massa em gramas de material a ser condicionado

O condicionamento das farinhas foi realizado em bateadeira planetária, por adição lenta do volume de água calculado. Após, o material foi colocado em sacos de polietileno, que foram selados e mantidos sob refrigeração por, no mínimo, 12 horas para atingir o equilíbrio, antes de ser processado.

3.2.3.3. Testes preliminares

Foram realizados 14 testes preliminares variando-se a velocidade de rotação do parafuso (100 a 160 rpm), diâmetro da matriz (4 e 6 mm), taxa de compressão (3:1 e 4:1) e fluxo de alimentação (60 a 100 rpm). Farinhas com tempos de germinação do trigo de 0, 48, 96 e 144h (farinha de quebra + farinha de redução; farelo + farelinho e farinha integral) foram extrusadas com 20% de umidade e temperatura de extrusão de 160°C.

Foi selecionada, para este trabalho, a farinha integral e tempos de germinação do trigo de 48, 72 e 96h, pelos resultados de torque; características dos extrusados: expansão, volume específico, aspecto geral e sabor; e características das farinhas: rendimento, IAA, ISA e viscosidade máxima.

Pela passagem pelo extrusor, sem problemas de entupimento de farinhas integrais de trigo germinado, empregando valores mínimos e máximos de temperaturas de extrusão (100 a 200°C) e umidades das farinhas (14 a 30%), selecionaram-se os níveis de 120, 140 e 160°C de temperatura de extrusão e 18, 21 e 24% de umidade das farinhas para o trabalho experimental. Estas condições foram selecionadas levando-se em conta o objetivo da extrusão no trabalho que foi o pré-cozimento das farinhas.

3.2.3.4. Produção de farinha integral extrusada de trigo germinado (FIETG)

O processo de extrusão, realizado em extrusor Brabender de rosca única, com rotação de 120 rpm, taxa de compressão de 3:1, matriz de 6 mm de diâmetro e fluxo de alimentação de 70-80 rpm (variou de acordo com o teor de umidade para dar uma taxa de alimentação constante), só foi iniciado quando as diferentes zonas do extrusor atingiram as temperaturas desejadas. A temperatura da primeira zona foi fixada em 80°C, enquanto que as temperaturas da zona de aquecimento e do cabeçote, variaram conforme delineamento experimental.

O nível de material no alimentador foi mantido sempre constante e os produtos extrusados foram coletados somente após o processo atingir seu equilíbrio, verificado pela constância no gráfico de torque. Ao término de cada ensaio, o equipamento foi devidamente limpo e as condições operacionais modificadas para processamento de nova amostra (em ordem aleatória).

Após a extrusão, os extrusados foram secos em estufa com circulação de ar a 45-50°C, até atingir conteúdo de umidade de 8-12%. Ao atingirem a temperatura ambiente os extrusados foram moídos, em moinho de facas e a seguir em moinho de rolos. As farinhas obtidas foram armazenadas em sacos de polietileno, ao abrigo da luz e calor.

Para estudar a estabilidade ao armazenamento (análise de pH, acidez álcool-solúvel e hexanal) foram retiradas subamostras de farinhas integrais de trigo controle, FITG e FIETG, que foram armazenadas em frascos de vidro transparente com tampa de rosca, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz, até o momento das análises no período de 0 à 6 meses.

3.2.4. Delineamento Experimental

O experimento de extrusão foi conduzido conforme delineamento central composto rotacional (DCCR) com 3 fatores ou variáveis independentes. Este delineamento para 3 variáveis contém um mínimo de $2^N + 2N + 1$ pontos ou ensaios, onde N é o número de variáveis. Os ensaios definidos por estes pontos compreendem: 2^N pontos para um modelo fatorial completo (combinam níveis +1 e -1); 2N pontos axiais ou estrela em cada eixo, com distância do centro igual a distância de cada vértice (um nível em α e os outros em zero) (valores mínimo e máximo), mais um ou mais pontos no centro do modelo (nível zero). O valor de α depende do número de pontos do modelo fatorial (F) e do número de fatores (N), sendo calculado pela equação: $\alpha = (F)^{1/4} = (2^N)^{1/4}$. Neste caso, com 3 variáveis: $(2^3)^{1/4} = \sqrt[4]{8} = 1,682$.

A Figura 6 apresenta numa forma gráfica, o DCCR para 3 fatores. Os DCCR são modelos otimizados para encontrar modelos quadráticos. O número de pontos centrais é suficiente para testar a validade do modelo quadrático encontrado, bem como testar a falta de ajuste do modelo (ARTEAGA et al., 1994).

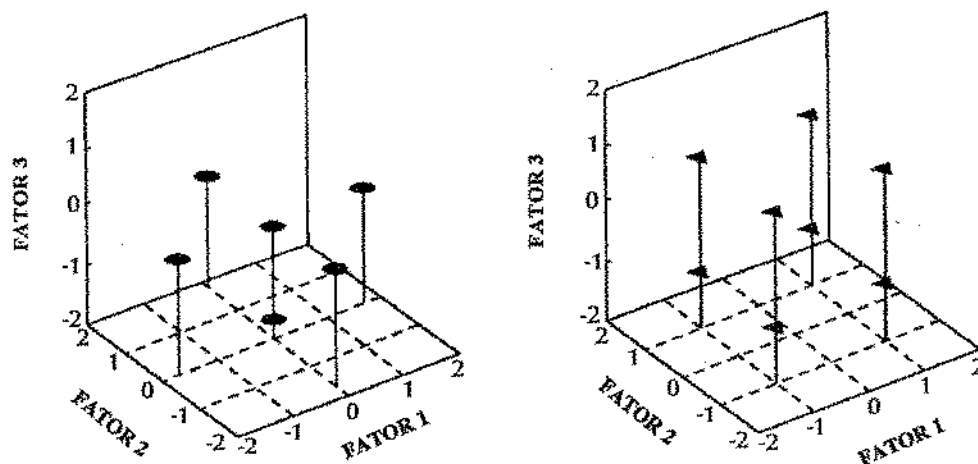


Figura 6. Modelo central composto rotacional para 3 fatores.

Nos gráficos (▲) representam os pontos do modelo fatorial completo 2^N (8 ensaios) e (●) indicam os pontos axiais ou estrela $2N$ (6 ensaios) e o ponto central. Os pontos centrais são replicados para dar uma estimativa do erro puro devido a variabilidade experimental ou ao acaso.

FONTE: Adaptado de ARTEAGA et al. (1994)

Neste trabalho o número mínimo de ensaios seria 15 ($2^3 + 2.3 + 1$), sendo 8 fatoriais, 6 axiais e um central. Foram realizados 19 ensaios, sendo destes 5 repetições no ponto central. As 3 variáveis independentes são: tempo de germinação do trigo, conteúdo de umidade da farinha e temperatura de extrusão. As faixas de variação entre o limite inferior e o superior de cada variável foram determinadas através de testes preliminares (item 3.2.3.3.). Os níveis das variáveis, tem seus valores mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Variáveis e níveis de variação

VARIÁVEIS	NÍVEIS				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
X_1 = tempo de germinação (h)	32	48	72	96	112
X_2 = umidade da matéria-prima (%)	16	18	21	24	26
X_3 = temperatura de extrusão (°C)	106	120	140	160	174

Os valores codificados e reais das 3 variáveis utilizada no delineamento estatístico do ensaio são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Delineamento experimental para as 3 variáveis independentes

TRATAMENTO OU ENSAIO	VARIÁVEIS CODIFICADAS			VARIÁVEIS REAIS		
	X ₁	X ₂	X ₃	t germ. (h)	umidade (%)	Temp. (°C)
1	-1	-1	-1	48	18	120
2	1	-1	-1	96	18	120
3	-1	1	-1	48	24	120
4	1	1	-1	96	24	120
5	-1	-1	1	48	18	160
6	1	-1	1	96	18	160
7	-1	1	1	48	24	160
8	1	1	1	96	24	160
9	-1,682	0	0	32	21	140
10	1,682	0	0	112	21	140
11	0	-1,682	0	72	16	140
12	0	1,682	0	72	26	140
13	0	0	-1,682	72	21	106
14	0	0	1,682	72	21	174
15	0	0	0	72	21	140
16	0	0	0	72	21	140
17	0	0	0	72	21	140
18	0	0	0	72	21	140
19	0	0	0	72	21	140

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Para a manutenção da equidistância entre os valores das 3 variáveis independentes, o programa SAS foi rodado, neste trabalho, com os fatores ou variáveis independentes codificados, sendo as respostas apresentadas em valores reais. Para transformar valores codificados das variáveis independentes em valores reais emprega-se a seguinte equação:

$$x = \frac{X - Y}{q} \quad \text{onde:}$$

x = valor codificado da variável X
 X = valor real da variável
 Y = valor real da variável no ponto central
 q = intervalo de variação de X

Os ensaios foram executados em forma aleatória por sorteio. Para cada ensaio foram avaliadas as seguintes variáveis dependentes ou respostas:

- Torque;
- *Nos extrusados*: expansão radial, volume específico e dureza;
- *Nas farinhas integrais extrusadas de trigo germinado*: composição centesimal, açúcares, minerais, densidade aparente, índice de absorção de água (ISA), índice de solubilidade em água (ISA), cor, características de pasta, força do gel e viscosidade a 37°C, composição em aminoácidos, lisina disponível e digestibilidade "in vitro", pH, acidez álcool-solúvel e hexanal.

3.3. MÉTODOS ANALÍTICOS

3.3.1. Granulometria

Foi determinada pela passagem de 100 gramas de amostra por um conjunto de peneiras do Aparelho Produtest (de 14, 35, 60, 80, 100 mesh e fundo), com agitação constante durante 30 minutos. Os resíduos de cada peneira e do fundo foram pesados em balança semi-analítica e os resultados expressos em porcentagem.

3.3.1.1. Diâmetro médio de partícula

A determinação do diâmetro médio de partícula foi realizada pelo método descrito por HENDERSON & PERRY (1976), através da fórmula: $D = 104,14 \times 2^{MF}$, onde: D = diâmetro médio de partícula (em micrômetro) e MF = módulo de finura (é definido como a soma de peso das frações retidas em cada peneira dividido por 100 e indica a uniformidade de partícula no produto).

3.3.2. Composição Centesimal

- ♦ *Umidade**: foi determinada por dessecação em estufa, a 103°C, até peso constante, conforme método 44-15A da AACC (1995);
- ♦ *Proteína**: foi determinado o nitrogênio total pela técnica de Micro-Kjeldahl, método 46-13 da AACC (1995), usando-se o fator N x 5,7 para obter o teor de proteína bruta;
- ♦ *Cinzas**: foram calculadas após calcinação da amostra em mufla a 550°C até peso constante, de acordo com método 08-01 da AACC (1995);
- ♦ *Lipídios totais**: foram determinados pelo método de BLIGH & DYER (1959). As amostras com mais de 10% de umidade foram secas. A amostra (3,0 g) foi colocada em tubo de ensaio, tratada com uma mistura de clorofórmio, metanol e água (1:2:0,8) e agitada por 30 minutos. Após foi adicionada de clorofórmio e água (1:1) e manualmente agitada energicamente. O tubo foi deixado em repouso para separação das camadas, a camada superior foi desprezada e fase clorofórmica foi seca com sulfato de sódio anidro. Depois foi retirada uma alíquota de 5 mL e evaporada em estufa a 100°C até peso constante;
- ♦ *Carboidratos*: foram calculados pela diferença [100-(umidade+proteína+cinzas+lipídios)]

* Determinados em amostras triplicatas, resultados expressos em porcentagem.

3.3.3. Microscopia

3.3.3.1. Microscopia óptica

As amostras de farinha integral de trigo controle e germinado por 48h, 72h e 96h foram observadas ao microscópio óptico, marca Jenaval, sob luz normal e polarizada. Foram montadas lâminas histológicas colocando-se uma pequena quantidade de farinha, adicionando-se uma gota de solução de glicerina e água (1:1) e recobrimo-se cada uma com lamínula. Foi utilizado filme Fuji-Neopan SS-135mm, branco e preto.

3.3.3.2. Microscopia eletrônica de varredura

Para maior detalhamento da morfologia, as amostras foram observadas ao microscópio eletrônico de varredura, marca Jeol. As amostras de farinha foram desidratadas em secador de ponto crítico de CO₂ (Balzer). Pequena quantidade de farinha foi aspergida sobre fita adesiva de prata, de dupla face e colada sobre suportes cilíndricos metálicos de uso rotineiro. As amostras foram recobertas com ouro em metalizador à vácuo (marca Balzer), com ionização obtida por espalhamento (Sputter coater) e observadas ao microscópio eletrônico de varredura com 15 kv de aceleração e aumentos entre 150 à 3500 vezes. Empregou-se filme branco e preto Fuji-Neopan SS-120mm. Os filmes foram revelados e copiados segundo processos de rotina.

3.3.4. Energia

3.3.4.1. Energia bruta

A energia bruta das amostras foi determinada em bomba calorimétrica adiabática PARR, modelo 1261 e referida como a quantidade de calor liberado pela amostra, quando esta foi completamente oxidada em ambiente contendo 25 a 30 atm de oxigênio. O calor de combustão da amostra foi comparado com o padrão de ácido benzóico e o resultado expresso em kcal/100 g (SILVA,1981).

3.3.4.2. Energia metabolizável

A energia metabolizável foi calculada a partir dos dados de composição centesimal. No cálculo foi usado o fator de Atwater, ou seja, 4, 9 e 4 kcal/g para proteínas, lipídios e carboidratos, respectivamente (ANDERSON et al., 1988). Os valores foram expressos em kcal/100 g.

3.3.5. Açúcares

3.3.5.1. Extração dos açúcares

A amostra (1 g) extraída com clorofórmio (4 mL) e metanol (4 mL) foi agitada por 20 minutos, adicionada de mais 1 parte de água (4 mL) e agitada por mais 15 minutos. Após a separação das fases, a camada metanólica (superior) foi isolada e o resíduo reextraído com metanol, clorofórmio e água (1:1:1). A nova camada superior foi retirada após centrifugação a 193 g (1000 rpm, raio centrífuga=17,3cm) por 15 minutos. Os extratos da primeira e segunda extração foram combinados e filtrados em papel de filtro. O resíduo de clorofórmio-gordura que ficou junto com o extrato metanólico foi separado em funil de separação e o extrato metanólico puro foi evaporado durante a noite a 45°C em estufa. Os açúcares foram ressuspensos em água destilada conforme concentração conveniente para as análises de açúcares redutores e totais.

3.3.5.2. Açúcares redutores

Foram determinados pelo método espectrofotométrico de SOMOGYI (1945) NELSON (1944). A curva padrão foi feita com glicose (0-200µg/mL) e a leitura na absorvância de 540 nm.

3.3.5.3. Açúcares totais

Foram determinados através de método colorimétrico fenol-sulfúrico de DUBOIS et al. (1956). A curva padrão foi feita com sacarose (0-100µg/mL) e a leitura na absorvância de 490 nm.

3.3.6. Fibra Alimentar

Foi determinada através de método enzimático-gravimétrico, segundo PROSKY et al. (1988 e 1992) com algumas modificações. A amostra desengordurada e dessecada, em quadruplicata, foi gelatinizada na presença de α -amilase termoresistente (Sigma A-3306) e, posteriormente, submetida à hidrólise enzimática com protease (Sigma P-3910) e amiloglicosidase (Sigma A-9913) para remoção de proteína e amido.

Após a hidrólise enzimática, a fibra alimentar solúvel foi precipitada por meio de 4 volumes de etanol a 98%. A solução alcoólica foi filtrada em lã de vidro Merck (Art. 4986). O resíduo e o precipitado retidos foram lavados com etanol a 78%, etanol 95% e acetona, secos

e pesados. A fibra alimentar total (FAT) corresponde ao peso do resíduo mais o precipitado menos o peso da proteína e cinza neles contidos. Resultados expressos em porcentagem.

$$F.A.T.(%) = \frac{RT(g) - C(g) - P(g) - BT(g)}{m(g)} \times 100$$

onde: RT = média do resíduo total da amostra $(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 / 4)$

P = média de proteína do resíduo total $(P_1 + P_2 / 2)$

C = média de cinzas do resíduo total $(C_1 + C_2 / 2)$

m = média do peso das amostras $(m_1 + m_2 + m_3 + m_4 / 4)$

$$BT = RT_B - P_B - C_B \quad \text{onde: } RT_B = \text{média do resíduo total do branco}$$

$$P_B = \text{média de proteína do resíduo total}$$

$$C_B = \text{média de cinzas do resíduo total}$$

3.3.7. Fitato

Foi determinado através de método colorimétrico baseado na reação entre ion férrico e ácido sulfosalicílico, de acordo com o método de HARLAND & OBERLEAS (1977) com modificações introduzidas por LATTA & ESKIN (1980). Segundo o método, a quantidade de fitato é estimada pela perda de cor do complexo Fe^{3+} -ácido sulfosalicílico (Reagente de Wade) ocasionada pelo fitato.

A amostra seca e finamente moída foi extraída com HCl 0,25M, em duplicata. Os fosfatos inorgânicos foram eliminados fazendo-se passar o extrato por coluna de troca iônica / resina (AG1-X4 Chloride – Anion exchange column, DOWEX) e eluindo-se com NaCl 0,1M. O fitato foi eluído com NaCl 0,7M e combinado ao reagente de Wade ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$ – ácido sulfosalicílico) para a reação de cor. O precipitado, que contém o complexo fitato-Fe foi eliminado por centrifugação e mediu-se a absorvância do sobrenadante, cuja diminuição é proporcional à concentração de fitato presente. Leituras padronizadas foram obtidas a partir de soluções preparadas com concentrações crescentes de fitato de sódio (SIGMA-“dodecasodium salt from rice”, P-3168), as quais foram tratadas de forma idêntica aos extratos. Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.3.8. Vitaminas B₁, B₂, B₆

As vitaminas B₁ (tiamina) e B₂ (riboflavina) foram determinadas em amostras duplicatas, de acordo com o método de BOGNAR (1981) e a vitamina B₆ (piridoxina) pelo método de BOGNAR (1985). Foram analisadas na Embrapa-CTAA, em cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC), marca Shimadzu, equipado com bomba LC-10AD e com detector de Fluorescência RF-535. Integração: CBM-101; Class-CR10. Os resultados foram expressos em mg/100g.

3.3.9. Minerais

As amostras de farinha, em duplicatas, foram calcinadas em placa aquecedora com elevação lenta da temperatura até o término do desprendimento de fumaça e foram transferidas para a mufla a 500°C até obtenção de cinzas brancas.

O preparo da solução de minerais foi realizado através da adição de 0,5 mL de HNO₃ concentrado às amostras, com aquecimento em placa até a secagem, seguido de solubilização por adição de 2,5 mL de HNO₃ 25% e aquecimento suave. As amostras foram quantitativamente filtradas em papel filtro livre de cinzas (Whatmann 540 "ashless") e diluídas a 100 mL com água destilada.

O teor de K foi determinado por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), o de Na por espectrometria de emissão atômica com chama (FEAS), em espectrofotômetro Perkin-Elmer (modelo 306) e os teores de Ca, Mg, P, Zn, Fe, Cu, Mn, B por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), em equipamento ICP-AES, JARRELL ASH (modelo 975), no laboratório da Seção de Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

A utilização da espectrometria de emissão atômica por plasma vem sendo utilizada para a determinação de minerais em substituição à de absorção (AAS) por possibilitar análises múltiplas de forma rápida e com grande precisão (MOORE, 1989). Os resultados foram expressos em mg/100g.

3.3.10. Composição em Ácidos Graxos

Foi realizado primeiramente a *extração de lipídios* segundo método de BLIGH & DYER (1959) seguida da *quantificação de ácidos graxos* por cromatografia gasosa.

Os ésteres metílicos foram preparados conforme o método de MAIA (1992), adaptado de HARTMAN & LAGO (1973). As amostras foram saponificadas e os ácidos graxos metilados com o reagente esterificante constituído por cloreto de amônio-ácido sulfúrico e metanol (NH₄Cl-H₂SO₄-MeOH) na proporção de 1:1,5:30.

A composição de ácidos graxos foi determinada usando cromatógrafo gasoso PERKIN-ELMER, com detector de ionização de chama (FID). As condições usadas foram: coluna empacotada Silar 10C (10% Cianopropilsiloxano em chromosorb W) de 4,0 m de comprimento x 1/8" de diâmetro. O fluxo de nitrogênio (gás de arraste) foi de 25 mL/min, a temperatura da coluna foi de 165°C e as temperaturas do detector FID e do injetor foram de 225°C. Foi injetado 1 µL de amostra e os ácidos graxos identificados por comparação com os

tempos de retenção dos padrões (SIGMA - 89F-9012). Foram quantificados por cálculo automático de área com o integrador Perkin-Elmer LCI-100 (atenuação:32, velocidade do papel:1 e integração: a partir de 1 minuto). Os resultados foram expressos em porcentagem de ácidos graxos.

3.3.11. Composição em Aminoácidos

O perfil de aminoácidos (aa) foi determinado após hidrólise ácida de amostras triplicatas com HCl 6N (2,5 mg N por 150 mL) por 22 horas a 110°C, em ampolas seladas à vácuo. A proporção proteína:HCl foi de 5mg:1mL. Os hidrolisados foram evaporados em dessecador contendo pastilhas de NaOH e posteriormente ressuspensos em tampão citrato pH 2,2 (Na-S, Beckman Instr., Palo Alto, CA).

Cisteína e metionina, que são destruídas durante a hidrólise ácida, foram convertidas em derivados ácidos estáveis (ácido cistéico e metionina sulfona, respectivamente) por oxidação com ácido per fórmico. As amostras oxidadas foram então hidrolisadas com HCl 6N seguindo procedimento descrito acima.

As amostras foram filtradas por membranas de 0,22 µm e convenientemente diluídas em tampão citrato. A análise foi realizada por cromatografia de troca iônica com detecção pós-coluna de ninidrina em auto analisador de aminoácidos Beckman, modelo 7300 (BECKMAN INSTRUMENTS, 1977), equipado com coluna de 200 mm de comprimento, contendo resina de troca iônica de sódio e operando em condições para hidrolisados protéicos. Norleucina serviu como padrão interno. Uma alíquota de 100 µL foi injetada no analisador de aminoácidos. Não foi determinado o teor de triptofano. Os resultados foram expressos em g aa/100g proteína.

3.3.12. Lisina Disponível

Foi determinada de acordo com o procedimento de KAKADE & LIENER (1969), que determina o teor de lisina biologicamente ativa, isto é, os resíduos de lisina das cadeias polipeptídicas das proteínas nas quais os grupos ε-amino estão livres.

O método baseia-se na reação dos grupos ε-amino livres da proteína com o TNBS 0,1% (ácido 2,4,6-trinitrobenzenosulfônico), que tem especificidade de reação com grupos amino primários, resultando em um trinitrofenil(TNP)-derivado de coloração amarela. O TNBS não faz distinção entre os grupos ε-amino da lisina e os α-amino dos aminoácidos N-

terminais, reagindo com ambos, por isso subsequente a hidrólise da TNP-proteína com HCl 8N em autoclave a 120°C por 1 hora, os α -TNP-aminoácidos podem ser extraídos com éter etílico e a ε -TNP-lisina permanece na fase aquosa onde pode ser determinada espectrofotometricamente à 346 nm (KAKADE & LIENER, 1969).

Os teores de lisina disponível foram calculados aplicando-se a equação de Lambert-Beer: $A = a \times b \times c$, onde: A = absorvância, a = absortividade molar ou coeficiente de extinção molar da ε -TPN-lisina = $1,46 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, b = espessura da cubeta = 1 e c = concentração (moles/L). Os resultados foram expressos em g Lys disponível /100 g de proteína.

3.3.13. Digestibilidade Protéica "In Vitro"

Foi determinada pelo método de AKESON & STAHMANN (1964) com pequenas modificações, pela digestão das amostras com pepsina (SIGMA 7000) por 3 horas e posteriormente pancreatina (SIGMA 1750) por 24 horas. O hidrolisado foi separado da fração não digerida (sólida) por precipitação com ácido tricloroacético (TCA) a 30% e posterior centrifugação. O mesmo processo foi utilizado para obter os brancos da enzima e da amostra. A porcentagem de digestibilidade da proteína foi calculada como a relação entre o nitrogênio hidrolisado (ou digerido) e o conteúdo de nitrogênio da amostra testada (obtidos por micro-Kjeldahl), de acordo com a fórmula:

$$\%D = \frac{NH - NBE}{NA} \times 100$$

onde:

$\%D$ = porcentagem de digestibilidade da proteína
 NH = mg nitrogênio hidrolisado (N digerido)
 NBE = mg nitrogênio do branco da enzima
 NA = mg de nitrogênio da amostra (proteína total)

$$NH = \frac{0,02 \times \text{vol. corrigido} \times 14,007 \times 50}{5}$$

onde:

0,02 = normalidade do HCl usado
 vol. corrigido = gasto - branco $\times$ FC
 FC = fator de correção
 14,007 = para valores em mg
 50 mL = volume de partida
 5 mL = alíquota utilizada

3.3.14. Escore Químico

O escore químico foi calculado a partir da determinação de aminoácidos (aa), pela divisão dos teores de cada um dos aminoácidos essenciais da proteína em estudo pelo aminoácido correspondente do padrão de referência da FAO/WHO/UNU (1985) para crianças de 2-5 anos. O aminoácido para o qual a proteína apresentou o escore mais baixo foi o aminoácido limitante e se tornou o escore químico da proteína.

$$\text{Escore Químico (EQ)} = \frac{\text{g aminoácido} / 100 \text{ g proteína}}{\text{Padrão FAO / WHO / UNU (1985)}^*} \times 100$$

* transformado de mg de aa/g proteína para g aa/100g de proteína

3.3.15. Digestibilidade Protéica corrigida pelo Escore de Aminoácidos (PDCAAS)

A digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos (PDCAAS) foi calculada relacionando o *escore químico* (EQ) determinado conforme item 3.3.14 com a *digestibilidade*, de duas maneiras: através da digestibilidade verdadeira conforme HENLEY & KUSTER (1994) e pela digestibilidade “in vitro” segundo PETZKE et al. (1997) empregando a seguinte equação:

$$PDCAAS (\%) = \frac{EQ \text{ do aminoácido limitante} \times \text{digestibilidade protéica}}{100}$$

O conteúdo protéico foi calculado usando o fator 5,7 (fator específico da AOAC para o trigo) multiplicado pelo teor de nitrogênio da amostra, o que de acordo com HENLEY & KUSTER (1994) pode ser feito uma vez que foi usada somente uma fonte protéica. O valor da digestibilidade verdadeira do grão de trigo (87%) foi obtido do apêndice B de regulamentos de nutrição da FDA (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 1993) e os valores de digestibilidade “in vitro” determinados conforme item 3.3.13.

3.3.16. Torque

O torque foi calculado a partir dos gráficos fornecidos pelo registrador Do-Corder, que determina a força necessária para impulsionar as amostras em direção à matriz. Foi tomado o valor médio durante a fase mais estável. Os resultados foram expressos em gf.m.

3.3.17. Expansão Radial dos Extrusados

Foi calculada pela razão entre o diâmetro do extrusado e o diâmetro da matriz, medidos com paquímetro (marca Mitutoyo), em 15 unidades de extrusados com 5 cm tomadas aleatoriamente, em cada ensaio (VILELA & EL-DASH, 1987).

3.3.18. Volume Específico dos Extrusados

O volume específico foi determinado nos extrusados (5 cm) pelo método de deslocamento de sementes de painço (HSIEH et al., 1991). Os resultados foram obtidos pela média aritmética das medidas de 15 extrusados e expressos em mL/g.

3.3.19. Dureza dos Extrusados

A dureza (força de quebra) dos extrusados foi determinada no analisador de textura TA.XT2, empregando o software XTRAD. Para avaliar a dureza as amostras de extrusados com 5 cm de comprimento foram colocadas horizontalmente em uma plataforma (suporte) e rompidas com uma faca de aço retangular. O resultados foram expressos em kg.f (quilograma-força) e representam a média aritmética de 15 determinações de dureza para cada amostra. As condições empregadas neste teste foram as seguintes:

Faca (Warner Bratzler) de 12,0 x 7,0 cm	Força de contato= 5,0 g
Limiar de força= 20,0 g	Limiar de distância= 0,50 mm
Ruptura	
Velocidade de teste= 5,0 mm/s	Velocidade de pré e pós-teste= 5,0 mm/s
Distância de ruptura= 5,0 mm	Distância= 20,0 mm

3.3.20. Densidade Aparente

Foi determinada colocando-se 5 g de farinha em proveta de 25 mL. O assentamento da amostra foi feito batendo-se a proveta com a amostra sobre uma superfície de borracha, até volume constante (50 batidas). O resultado é a média de triplicatas obtida pela divisão de massa (g) por volume (mL) (ABDEL-AAL et al., 1992).

3.3.21. Índices de Absorção de Água (IAA) e de Solubilidade em Água (ISA)

Foram determinados pelo método descrito por ANDERSON et al. (1969), com pequenas modificações. Amostras de 2,5 g das farinhas, em triplicatas foram suspensas em 30 ml de água à 30°C, em tubos de centrifuga de 50 ml, previamente pesados. Foi realizada agitação intermitente por 30 minutos e centrifugação a 2500G por 10 minutos. O sobrenadante líquido de cada tubo foi cuidadosamente transferido para placa de Petri de peso conhecido e o tubo com gel foi pesado. O IAA foi obtido pela divisão de peso do gel pelo peso da amostra moída e expresso em g gel/g amostra. O sobrenadante obtido anteriormente colocado em placa de Petri foi levado à evaporação em estufa à 105°C até peso constante. O ISA foi obtido pela divisão do peso dos sólidos secos recuperados por evaporação, pelo peso da amostra. Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.3.22. Falling Number

A atividade de α -amilase das FITG (matérias-primas) foi determinada em instrumento Falling Number, em amostras duplicatas pelo método nº 56-81 B da AACC (1995), com 7 g de amostra corrigida para 14g/100g de umidade, adicionada de 25 mL de água destilada e agitada energicamente 20-30 vezes, antes de ser colocada no instrumento.

3.3.23. Cor

Foi determinada em colorímetro Minolta com iluminante C (luz do dia) e ângulo de 2°, sendo feita 3 leituras na amostra. Os resultados apresentados, utilizando o sistema CIELAB, são as médias dos valores de: L^* , a^* , b^* (medidos) e ΔE^* (calculada).

O sistema de cor no espaço $L^*a^*b^*$ ou CIELAB foi definido pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação) em 1976. Neste sistema, L^* indica luminosidade e a^* e b^* são coordenadas de cromaticidade. A **Figura 7A** é a representação da cor sólida para a cor no espaço $L^*a^*b^*$. A **Figura 7B** é uma vista deste sólido cortado horizontalmente até um valor constante de L^* . Mostra o diagrama de cromaticidade a^* , b^* , que indicam direções de cor: $+a^*$ está na direção do vermelho, $-a^*$ está na direção do verde, $+b^*$ está na direção do amarelo e $-b^*$ está na direção do azul. O centro é acromático; à medida que os valores de a^* e b^* aumentam e o ponto move-se para fora partindo do centro, a saturação da cor aumenta (MINOLTA, 1994).

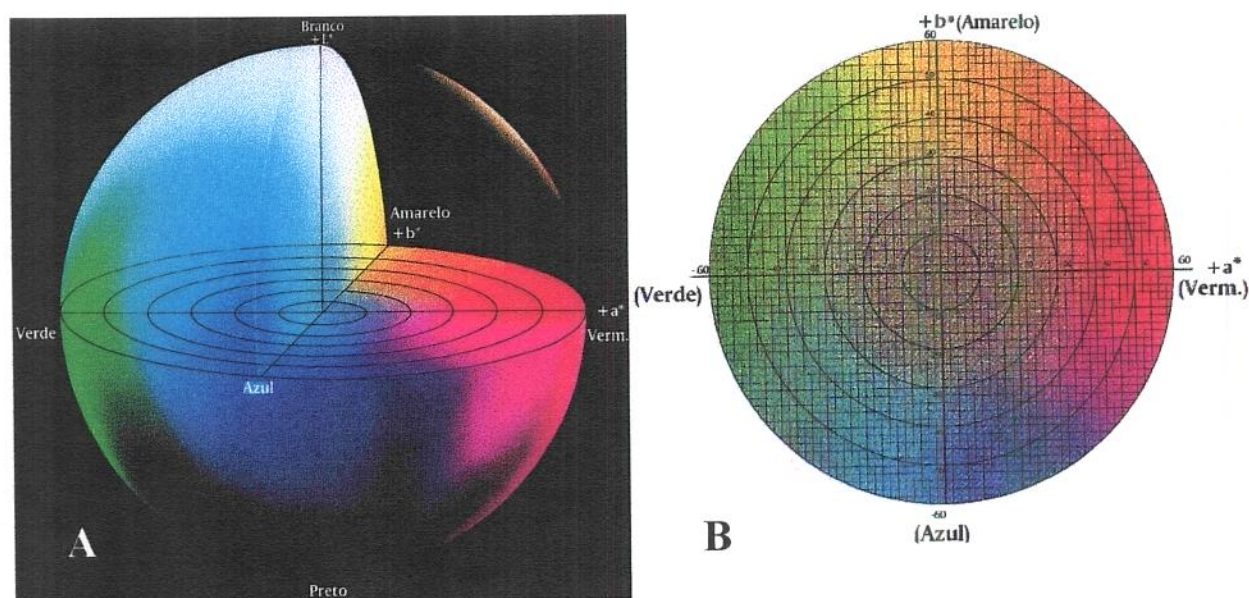


Figura 7. Representação de cor

A- Representação da cor sólida para cor no espaço $L^*a^*b^*$

B- Diagrama de cromaticidade a^* e b^*

FONTE: Adaptado de MINOLTA (1994)

A diferença de cor (ΔE^*) foi calculada pela fórmula: $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$

onde: ΔL^* , Δa^* e Δb^* representam a diferença nos valores de L^* , a^* e b^* , respectivamente, entre amostra e padrão. O padrão usado neste trabalho foram as leituras da farinha integral de trigo controle (não germinada, não extrusada).

3.3.24. Características de Pasta

As características de pasta foram determinadas com o analisador rápido de viscosidade (RVA - Rapid Visco Analyser), usando programa Thermocline for Windows versão 1.10. Este aparelho é comumente usado para medir a viscosidade do amido ou materiais contendo amido cozidos em água, em pequenas quantidades de amostra (3-4 g) e em curto espaço de tempo (11-25 min). As etapas de aquecimento, temperatura constante e resfriamento são monitoradas automaticamente por computador (WALKER et al., 1988).

Foram pesadas 3,5 g de amostra e adicionados 25 mL de água com bureta (corrigidas para 14g/100g de umidade) em copo especial de folha de alumínio, em duplicatas. A dispersão foi agitada com bastão de vidro, inserida a paleta e a seguir o conjunto de copo e paleta foram acoplados ao aparelho (NEWPORT CIENTIFIC, 1995). Iniciou-se então o teste através do monitoramento do programa de acordo com o perfil baseado em RYU et al.(1993), mostrado na **Tabela 5**.

Tabela 5. Perfil utilizado para determinação dos parâmetros de viscosidade

TEMPO (hora : min. : seg.)	TIPO (temperatura/velocidade)	VALOR (°C ou rpm)
00:00:00	temperatura	50
00:00:00	velocidade	960
00:00:10	velocidade	160
00:02:00	temperatura	50
00:06:00	temperatura	95
00:12:00	temperatura	95
00:21:00	temperatura	50
Final do teste: 00:21:00		
Temperatura inicial: 50±0,5 °C		

Os resultados das análises foram interpretados a partir dos gráficos fornecidos pelo programa do aparelho (**Figura 8**). Os parâmetros usados neste trabalho para a interpretação dos resultados foram:

- ◆ *Temperatura de pasta (ou temperatura inicial de gelatinização):* temperatura em °C que corresponde ao ponto onde inicia-se a formação de curva no gráfico;
- ◆ *Tempo de viscosidade máxima:* tempo de aquecimento no qual a viscosidade máxima de pasta ocorreu, expresso em minutos;
- ◆ *Viscosidade máxima:* viscosidade máxima desenvolvida durante o período de aquecimento, expressa em cP;
- ◆ *Viscosidade mínima à temperatura constante (95°C):* é o menor valor da viscosidade, após ter sido atingida a temperatura constante de 95°C, expressa em cP;
- ◆ *Viscosidade final:* valor da viscosidade, obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C, expressa em cP.

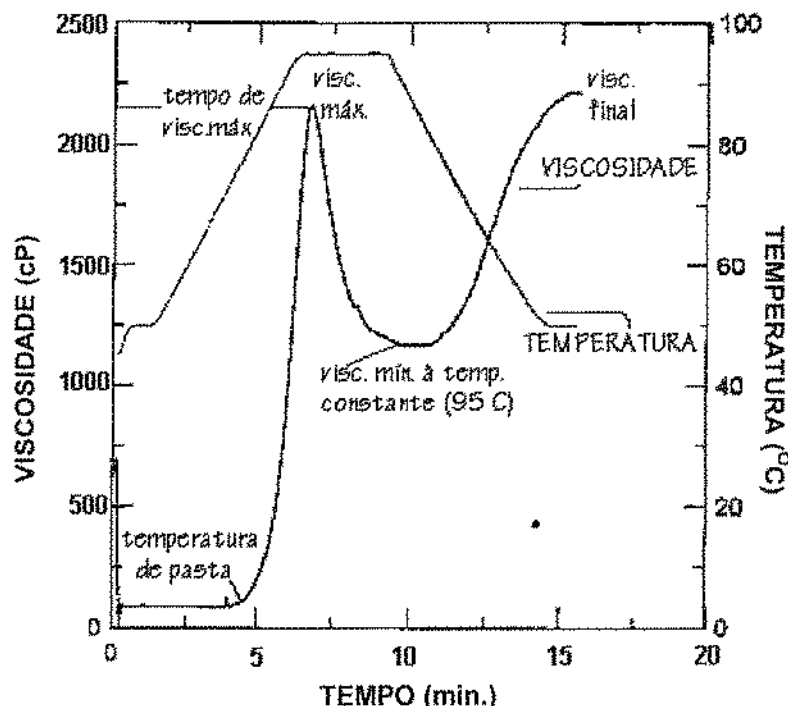


Figura 8. Curva de pasta típica do RVA mostrando alguns parâmetros de medida utilizados para caracterizar as propriedades da amostra
 FONTE: Adaptado de NEWPORT CIENTIFIC (1995)

3.3.25. Força do Gel

A força do gel da farinha integral controle e das FIETG foi determinada após a realização das análises de viscosidade no analisador rápido de viscosidade (RVA). Os resíduos da análise de viscosidade (item 3.3.24) foram colocados em béquer de vidro de 50 mL, vedados com filme plástico de PVC transparente e armazenados a 4°C por 18 horas. Após este tempo, o béquer foi deixado à temperatura ambiente por 2 horas. A seguir foram realizadas as leituras de força do gel usando o analisador de textura TA.XT2 empregando o software XTRAD, os resultados foram expressos em kg.f (quilograma-força) e representam o valor médio de duplicatas. As condições empregadas neste teste foram as seguintes:

Probe cilíndrico de acrílico (P-20, ser. 121)	Força de contato= 5,0 g
Limiar de força= 20,0 g	Limiar de distância= 0,50 mm
Medida de força em compressão	Retornar ao início
Velocidade de teste= 3,0 mm/s	Velocidade de pré e pós-teste= 3,0 mm/s
	Distância= 10,0 mm

3.3.26. Viscosidade a 37°C

Foi determinada usando o analisador rápido de viscosidade (RVA), com programa Thermocline for Windows, nas farinhas integrais extrusadas de trigo germinado (FIETG) com 14% de sólidos que foram aquecidas a 37 °C e a viscosidade determinada após 12 minutos, baseado em WANG et al. (1993). Os resultados foram a média de triplicatas e expressos em cP. O perfil utilizado é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6. Perfil utilizado para determinação de viscosidade a 37 °C

TEMPO (hora : min. : seg.)	TIPO (temperatura/velocidade)	VALOR (°C ou rpm)
00:00:00	temperatura	37
00:00:00	velocidade	960
00:00:10	velocidade	160
00:12:00	temperatura	37
Final do teste: 00:12:00		

3.3.27. pH

Foi determinado segundo o método potenciométrico para determinação de pH de farinha, da AOAC, método 943.02 (CUNNIFF, 1995). Em erlenmeyer de 250 mL, 10g de amostra foram adicionadas de 100mL de água destilada recentemente fervida a 25°C e agitadas até que as partículas estivessem uniformemente suspensas e a mistura livre de grumos. A mistura foi digerida durante 30 minutos e agitada freqüentemente. Após foi deixada em repouso por 10 minutos e realizada a leitura do pH no sobrenadante. Analisou-se o pH nos tempos de armazenamento de: $t_0 = 0$ meses; $t_1 = 2$ meses; $t_2 = 4$ meses; $t_3 = 6$ meses.

3.3.28. Acidez Álcool-Solúvel

Foi determinada por acidimetria, um método analítico volumétrico que consiste em neutralizar ácido por base em presença de indicador adequado. Os ácidos orgânicos hidrossolúveis e os inorgânicos, são doseados por titulação direta com NaOH, na presença de fenolftaleína como indicador. Os poucos solúveis em água, são dissolvidos em etanol ou outro solvente miscível com água; tais solventes, por não raro conterem impurezas ácidas devem ser neutralizados antes de seu emprego (KOROLKOVAS, 1984).

Foi empregado o método da acidez (álcool a 95%) para farinha, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (NARA et al., 1976), com algumas modificações (MOLTEBERG et al., 1995). Foram colocadas 5g de amostra em béquer de 250 mL, adicionou-se com proveta 80 mL de etanol neutro, deixou-se em repouso por 24 horas. Após adicionou-se mais 20 mL de etanol neutro com pipeta volumétrica e 2 gotas de fenolftaleína a 1%. A acidez álcool-solúvel foi determinada a partir do número de mililitros de solução de NaOH 0,01N fatorada gastos na titulação para neutralizar os ácidos graxos livres da amostra, sob agitação contínua, detectados pela viragem do pH para 8,3 (viragem da fenolftaleína). Os resultados são a média de triplicatas e foram expressos em mL de solução N% v/p. A acidez álcool-solúvel foi determinada nos tempos de armazenamento de: $t_0 = 0$ meses; $t_1 = 2$ meses; $t_2 = 4$ meses; $t_3 = 6$ meses.

3.3.29. Hexanal

Esta análise seguiu o procedimento de FRITSCH & GALE (1977), com algumas adaptações. A concentração de hexanal nas farinhas foi determinada pela adição de 150 mL de água fervente (para liberar o hexanal) em 15 gramas de amostra adicionada de 500 µL de padrão interno (contendo 0,1 µL de 4-heptanona) em erlenmeyer de 250 mL com boca esmerilhada, contendo pérolas de vidro. Este frasco foi hermeticamente fechado com rolha de borracha e fita veda rosca, agitado intermitentemente por 45 segundos e a seguir foi retirado 1 mL de "headspace" com seringa de ar (Precision Sampling Corp., Botton Rouge, Lousiana - U.S.A.) para ser injetado em cromatógrafo gasoso Varian 3400, com detector de ionização de chama. O tempo de corrida foi de 20 minutos.

O padrão interno com concentração de 0,2µL/mL, foi previamente preparado pela adição de 50 µL de 4-heptatona Merck (PE 141-142) em 250 mL de etanol Merck P.A. Foi usada a 4-heptanona que não forma hexanal (PE 131) e sai próxima deste no cromatograma.

As condições usadas no cromatógrafo foram: coluna empacotada de aço inoxidável 4%OV101/6%OV210 CWHF (80 a 100 mesh), medindo 2,0 m de comprimento x 1/8" de diâmetro; injetor tipo "on column"; atenuação de 2×10^{-10} ; temperaturas de: 100°C da coluna, 150°C do injetor, 150°C do auxiliar (FID) e 50°C do detector. O fluxo dos gases (relação 1:1:10) foi de: 23 mL/min para o hidrogênio (gás de arraste), 20 mL/min. para o nitrogênio e 225 mL/min para o ar sintético (ar+H₂= chama). As áreas dos picos foram quantificadas por cálculo automático com o integrador Varian 4400 (atenuação: 1, velocidade do papel: 0,5 e integração: a partir de 0,2 minutos).

Foi construída uma curva de calibração com 14 pontos, usando quantidades crescentes de padrão de hexanal (pureza 99%) em etanol e realizada nas mesmas condições de teste, exceto o uso da amostra. Para a construção da curva (**Anexo 1**), o valor da relação entre a área do pico de hexanal padrão e a área do pico de padrão interno (y) foi plotado contra a concentração de hexanal (x), obtendo-se a seguinte equação da reta: $y = -5,6717 + 1,13692.x$ (R= 0,99863). A mesma relação foi utilizada para o cálculo da concentração de hexanal das amostras (µg/g), calculada através da seguinte equação:

$$ppm \text{ hexanal } (\mu g / g) = \frac{x}{m}, \text{ onde: } \begin{array}{l} y = \text{área hexanal} / \text{área 4-heptanona} \times 100 (\mu g) \\ x = \text{concentração de hexanal encontrada pela equação da reta em } \mu g \\ m = \text{massa da amostra (g)} \end{array}$$

O hexanal foi determinado nos tempos de armazenamento de: $t_0 = 0$ meses; $t_1 = 3$ meses; $t_2 = 6$ meses.

3.4. MÉTODOS ESTATÍSTICOS

No **Anexo 2** são apresentados exemplos das programações do SAS for Windows que foram utilizadas neste trabalho (PROC ANOVA/TUKEY, PROC RSREG; PROC GLM): PROC ANOVA foi usada para efetuar a análise de variância e o teste de Tukey (teste de comparação de médias); PROC RSREG para construir modelos de regressão quadráticos de superfície de resposta e PROC GLM para encontrar modelos lineares gerais (General Linear Models) através do método dos mínimos quadrados podendo também desenvolver regressão simples, múltipla e polinomial, além de muitas outras análises (THE SAS SYSTEM, 1992).

3.4.1. Análise de Variância

Para avaliação dos resultados de caracterização das FITG e dados experimentais com replicatas, foi empregada a análise de variância (ANOVA) e determinada a significância pelo emprego do teste F ($p \leq 0,05$). Para estudo comparativo das médias foi feito teste de Tukey, verificando-se as médias estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade (PIMENTEL GOMES, 1990; THE SAS SYSTEM, 1992).

3.4.2. Metodologia de Superfície de Resposta

Para a análise do efeito combinado das variáveis independentes (x_1, x_2, x_3) nas respostas avaliadas (y_i) empregou-se a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). A resposta pode ser escrita como sendo função (f) de x : $y_i = f(x_1, x_2, x_3)$.

As médias dos dados de cada um dos 19 ensaios para cada resposta foram tratadas por análise de regressão múltipla da MSR, para desenvolver modelos matemáticos de segunda ordem, contendo termos lineares, quadráticos e de interação das 3 variáveis independentes, com o emprego do SAS for Windows (THE SAS SYSTEM, 1992). A fórmula geral deste modelo preditivo é representada pela equação:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \varepsilon$$

onde: y_i = função resposta genérica ou variável dependente
 x_1, x_2, x_3 = níveis codificados das variáveis independentes
 β_0 = ponto central do sistema ou ponto estacionário
 β 's = coeficientes estimados pelo método dos mínimos quadrados
 ε = resíduo que mede o erro experimental, apresentando uma distribuição normal com média zero e variância igual a s^2

Usando o método dos mínimos quadrados os coeficientes (β 's) são estimados. Dependendo dos coeficientes $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$, a equação pode dar origem a diferentes formas. A **Figura 9** mostra os tipos de superfície que podem ser geradas

por equações de segundo grau em duas variáveis, x_1 e x_2 . As formas a, d e e são especialmente importantes, uma vez que elas se aproximam a sistemas freqüentemente encontrados na prática (BOX et al., 1978).

O ponto estacionário da superfície (β_0) é encontrado pela diferenciação parcial da equação de regressão com relação a cada variável independente e resolvendo o sistema de equações lineares simultaneamente.

Nas Figuras 9a e 9b vemos o ponto estacionário (β_0) no qual a superfície encontrada atinge um *máximo* e um *mínimo*, respectivamente, assim movendo-se a partir de β_0 resulta em diminuição (9a) e aumento (9b) na resposta.

A Figura 9c mostra um *ponto de sela* da superfície encontrada, onde a resposta pode aumentar ou diminuir, dependendo da direção do movimento a partir do ponto estacionário.

A Figura 9d representa um sulco estacionário (ou depressão), que indica que há uma *linha*, ao invés de um simples ponto, onde existe uma resposta de máximo (ou de mínimo).

As Figuras 9e e 9f mostram uma série de *curvas crescentes* e *decrecentes*, respectivamente, onde o ponto estacionário real de máximo (9e) e de mínimo (9f), está num local remoto da região experimental e a resposta aumenta (9e) e diminui (9f) na direção desta região (EL-DASH et al., 1983).

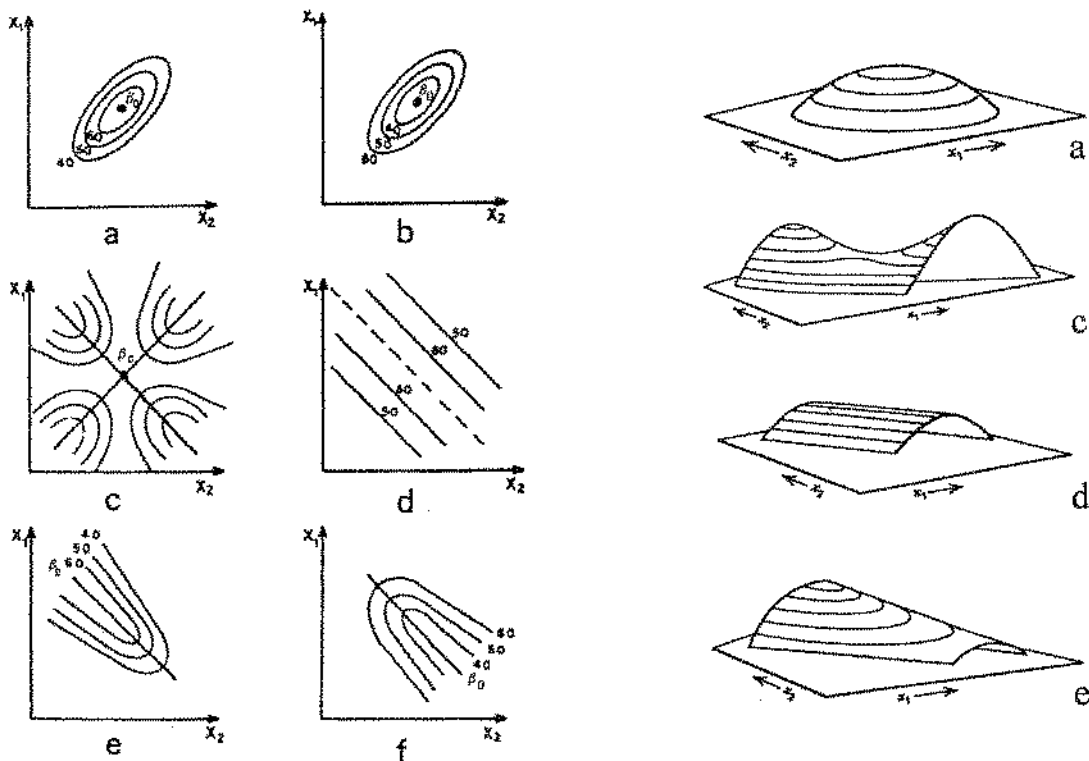


Figura 9. Tipos de superfície de resposta geradas por uma equação de segunda ordem.
a- máximo; b- mínimo; c- ponto de sela; d- linhas; e- curvas crescentes; f- curvas decrescentes
FONTE: à esquerda: EL-DASH et al. (1983) e à direita: BOX et al. (1978)

O modelo preditivo para cada resposta ou variável dependente pode ser empregado somente dentro da área experimental, não podendo serem feitas extrapolações. O modelo ideal deve ter: boa significância ($p \leq 0,05$), alta confiabilidade (dados dentro do intervalo de confiança de 95%, ou seja, resíduo irrelevante) e baixa variabilidade ($R^2 \geq 70\%$ e C.V. $\leq 10\%$, sendo aceito até 20% em experimentos de campo).

Quando o C.V.(%) foi muito alto, fez-se uma ANOVA separada (PROC RSREG) dos 5 pontos centrais e dos outros 14 ensaios, para verificar se a causa deste resultado não foi a grande variabilidade entre os 14 ensaios.

Neste trabalho, a análise de variância (teste F) foi aplicada para testar a adequação dos modelos (usou-se os valores codificados das variáveis independentes). Na ANOVA foi observado a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança pelo teste F e o coeficiente de determinação (R^2), que quanto maior o seu valor (mais próximo de 100%), melhor terá sido o ajuste do modelo aos dados experimentais observados (BARROS NETO et al., 1995).

Em alguns casos, a regressão foi significativa, porém, a falta de ajuste também foi. HENIKA (1978) através de comunicação pessoal à WASZCZYNSKYJ et al. (1981) sugere que, nestes casos, se o quadrado médio para o erro experimental tomar valores extremamente baixos, os testes de significância para falta de ajuste devem ser considerados irrelevantes. Contudo, para melhorar as conclusões, estes últimos autores sugerem repetir os cálculos da análise de variância usando o quadrado médio da falta de ajuste, ao invés do total do resíduo para calcular os valores de F. Este procedimento (ANOVA modificada) foi utilizado neste trabalho, quando necessário.

Após a seleção do modelo, os termos não significativos foram retirados e realizado um novo ajuste (PROC GLM/SAS), onde foram colocados os termos significativos a um nível de 5% de probabilidade, levando a um modelo final ajustado mais adequado para descrever as características da região analisada. Contudo, nos casos em que somente os termos quadráticos ou de interação foram significativos, os efeitos lineares correspondentes também foram mantidos (BOX et al., 1978). Nos casos que o R^2 caiu abaixo de 40% no modelo ajustado, foi empregado o modelo completo. Os modelos com R^2 muito baixo ($< 60\%$), foram usados somente como indicadores de tendência, nunca para fins preditivos.

Para se determinar o efeito das variáveis independentes nas respostas avaliadas, foram traçados gráficos bi e tridimensionais com o programa STATISTICA, fixando-se um dos fatores ou variáveis independentes no ponto central, na maioria dos casos a que teve

menos influência na resposta. Nos eixos dos gráficos, os valores codificados dos fatores foram substituídos pelos valores reais para uma melhor compreensão (STATISTICA for Windows, 1995). Quando se teve regressão e curva traçada com o modelo matemático ajustado, na maior parte dos casos, a discussão ficou subordinada aos gráficos.

Quando a falta de ajuste foi significativa e o erro experimental (erro puro) não era pequeno, pode ter ocorrido que alguma outra variável que não foi colocada no modelo esteja influenciando na resposta ou talvez haja necessidade de um modelo mais complexo. Nestes casos, tentou-se analisar pelo SAS (PROC GLM) os gráficos de resíduos x respostas (variáveis independentes); gráficos de preditos x observados e o gráfico de distribuição normal (THE SAS SYSTEM, 1992).

Resumidamente, os passos e critérios utilizados para a análise estatística do presente trabalho foram os seguintes:

1. A partir dos resultados dos 19 ensaios, obteve-se o modelo completo (PROC RSREG);
2. O modelo completo foi mantido nos casos que o R^2 foi muito baixo (<40%), no modelo ajustado;
3. Quando o modelo *não* foi *significativo* ao nível de 5%, fez-se Teste de Tukey, em alguns casos;
4. Se o modelo foi *significativo* ao nível de 5%, não apresentou falta de ajuste e quadrado médio do erro experimental *pequeno*, ajustou-se o modelo (PROC GLM) e fez-se gráficos (STATISTICA);
5. Se o modelo foi *significativo* ao nível de 5%, apresentou *falta de ajuste* e quadrado médio do erro experimental *pequeno*, fez-se ANOVA modificada e, mesmo quando esta não foi significativa, ajustou-se o modelo (PROC GLM), sendo a falta de ajuste considerada irrelevante, fez-se gráficos (STATISTICA);
6. Se o modelo foi *significativo* ao nível de 5%, apresentou *falta de ajuste* e quadrado médio do erro experimental *grande*, fez-se ANOVA modificada para confirmar:
 - Quando a ANOVA modificada não foi significativa ao nível de 5%, fez-se Teste de Tukey;
 - Se a ANOVA modificada foi significativa ao nível de 5%, ajustou-se o modelo e fez-se gráficos (STATISTICA).

Observação Geral: Nos casos de ajuste do modelo, em que o termo significativo foi quadrático ou de interação, manteve-se cada um dos lineares correspondentes.

3.4.3. Correlação

Realizada com as médias dos resultados das seis FITG e das dezenove FIETG para cada resposta, através do programa STATISTICA (STATISTICA for Windows, 1995). Foram relatadas as respostas com resultados de correlação mais relevantes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DETERMINAÇÃO DE QUALIDADE DO TRIGO

Entre os parâmetros que determinam a qualidade das sementes encontramos o seu poder germinativo e o seu estado fitossanitário. Uma semente de qualidade deve demonstrar um elevado nível de germinação e possuir um excelente estado sanitário (PERETTI, 1994).

4.1.1. Teste Padrão de Germinação

O teste de germinação foi realizado neste trabalho para avaliar a qualidade das sementes de trigo a ser utilizado no experimento de tese.

A germinação de sementes em laboratório é a emergência e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando sua aptidão para produzir uma planta normal sob condições favoráveis (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, 1992).

O teste de germinação do lote 126/95, usado neste trabalho apresentou 94,5% de plântulas, ou seja, 94,5% de germinação, o que pode ser considerado um alto nível. A ficha da análise realizada no laboratório de sementes da FEAGRI-UNICAMP e o boletim de análise fornecido pelo SPSB da Embrapa-CNPT encontram-se no **Anexo 3**.

4.1.2. Teste de Sanidade

A sanidade da semente refere-se, primariamente, à presença ou ausência de agentes patogênicos, tais como: fungos, bactérias, vírus e nematóides. Entretanto, pode também estar relacionada a anomalias decorrentes de alterações nutricionais e condições climáticas adversas, ocorridas no campo, no processamento ou no armazenamento. Pode elucidar a avaliação das plântulas e as causas de uma baixa germinação e de baixo vigor no laboratório de análise de sementes ou no campo, complementando assim, o teste de germinação (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, 1992).

O boletim de análise fornecido pelo Laboratório de Fitopatologia da Embrapa-CNPT (**Anexo 4A**) mostra que foram encontrados os fungos: *Fusarium spp* (10,5%), *Bipolaris sorokiniana* (0,5%) e *Stagnospora nodorum* (0,5%). Foi encontrada também, a bactéria *Pseudomonas syringae* pv. *translucens* (> 10.000 UFC).

O teste de sanidade que foi realizado no Laboratório Central de Sementes da CATI-SEAGESP teve por objetivo a detecção de fungos e apresentou resultados um pouco diferentes. Foram encontradas apenas 51% de sementes sadias e as incidências de fungos (Anexo 4B), embora pareçam muito elevadas, refletem a microflora frequentemente associada a cultura de trigo. Estes fungos não são patogênicos para a cultura do trigo, portanto, não foram relatados no boletim de análise da Embrapa, embora possam ter sido detectados. Quanto ao *Fusarium spp*, pequenas variações podem interferir nos resultados. Os fungos de armazenamento não foram detectados, provavelmente, por terem perdido a viabilidade durante o armazenamento, uma vez que este teste foi realizado posteriormente ao da Embrapa-CNPT.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS INTEGRAIS DE TRIGO GERMINADO (FITG)

4.2.1. Granulometria

A porcentagem de material retido, módulo de finura e diâmetro médio de partícula das farinhas estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Material retido, módulo de finura e diâmetro médio de partícula de FITG

TYLER ABERTURA (mm)	14	35	60	80	100	Fundo <0,149	MÓDULO DE FINURA	DIÂMETRO MÉDIO DE PARTÍCULA
FAR. INT. DE TRIGO	MATERIAL RETIDO (%)						(µm)	
Controle	0,77	17,56	41,98	27,02	5,48	7,19	2,60	629,4
Germinado 32h	0,59	14,15	16,65	27,55	15,94	25,12	1,81	364,0
Germinado 48h	0,62	12,65	23,44	29,73	14,64	18,92	1,98	411,2
Germinado 72h	0,30	11,40	25,12	35,45	15,48	12,25	2,09	442,9
Germinado 96h	0,17	12,53	22,55	27,85	18,63	18,27	1,93	396,7
Germinado 112h	0,17	6,27	18,68	30,81	17,11	26,96	1,61	317,2

Pode-se observar que o tamanho de partícula predominante nas farinhas integrais de trigo germinado (FITG) está compreendido entre 0,250 e < 0,149 mm (mais de 70%), ou seja, o material que ficou retido nas peneiras 60, 80, 100 e no fundo.

O módulo de finura (MF) indica a uniformidade de partícula no produto, de acordo com SILVER (1931) citado por HENDERSON & PERRY (1976) o grão de trigo apresenta módulo de finura de 5,00 e os grãos de trigo moídos são classificados como grits grosso (MF=4,10), médio (MF=3,20), fino (MF=2,30) e muito fino (MF=1,50). Por esta classificação as FITG do presente trabalho estão entre grits fino e grits muito fino.

O diâmetro médio de partículas diminuiu da farinha integral de trigo controle sem germinar em relação as farinhas integrais de trigo germinado (FITG), de 629,4 até 317,2 μm . Contudo, devido ao diâmetro de partícula ser um valor médio, ele é superior ao tamanho encontrado na maior parte do material retido, que foi inferior a 250 μm .

A diminuição de diâmetro de partícula nas FITG em relação ao da farinha controle pode ser explicada porque, pela germinação, o grão torna-se mais friável, assim a tendência de apresentar uma menor granulometria quando moído. Nota-se que o diâmetro médio de partícula diminuiu bruscamente na FITG48 aumentando na FITG72 e voltando a diminuir na FITG96, provavelmente isto ocorreu devido às inúmeras reações bioquímicas de anabolismo e catabolismo, que alteram a composição centesimal porém, nem sempre proporcionalmente ao tempo de germinação e isto se reflete no diâmetro de partícula da farinha.

4.2.2. Composição Centesimal

Como mostra a **Tabela 8**, que apresenta a composição centesimal aproximada das amostras estudadas, os teores de proteína e cinzas das farinhas integrais de trigo germinado aumentaram, os lipídios sofreram poucas alterações e os carboidratos diminuíram com o aumento do tempo de germinação, e em relação aos da farinha controle. A análise de variância de composição centesimal das FITG está no **Anexo 5A**.

Tabela 8. Composição centesimal aproximada de farinhas integrais de trigo

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	UMIDADE (%)	PROTEÍNA* (%)	CINZAS (%)	LIPÍDIOS (%)	CARBOIDRATOS** (%)
Controle	12,59 $\pm$ 0,03	10,04 $\pm$ 0,02 ^a	1,39 $\pm$ 0,01 ^c	2,10 $\pm$ 0,09 ^{a,b}	86,47 $\pm$ 0,12 ^a
Germinado 32 h	11,28 $\pm$ 0,16	10,64 $\pm$ 0,03 ^d	1,42 $\pm$ 0,07 ^{b,c}	2,22 $\pm$ 0,07 ^a	85,72 $\pm$ 0,17 ^b
Germinado 48 h	10,95 $\pm$ 0,07	10,70 $\pm$ 0,02 ^{c,d}	1,49 $\pm$ 0,01 ^b	2,15 $\pm$ 0,07 ^{a,b}	85,66 $\pm$ 0,10 ^{b,c}
Germinado 72 h	10,96 $\pm$ 0,10	10,83 $\pm$ 0,12 ^c	1,49 $\pm$ 0,00 ^b	2,13 $\pm$ 0,07 ^{a,b}	85,55 $\pm$ 0,05 ^{b,c}
Germinado 96 h	11,23 $\pm$ 0,05	11,02 $\pm$ 0,06 ^b	1,50 $\pm$ 0,02 ^{a,b}	2,02 $\pm$ 0,02 ^b	85,46 $\pm$ 0,10 ^c
Germinado 112 h	9,88 $\pm$ 0,08	11,56 $\pm$ 0,05 ^a	1,57 $\pm$ 0,01 ^a	2,14 $\pm$ 0,03 ^{a,b}	84,73 $\pm$ 0,09 ^d
M.D.S.	-	0,15	0,08	0,15	0,21

* Proteína: N x 5,7; ** Carboidratos: calculados por diferença [100-(proteína+cinzas+lípídios)];

Proteína, cinzas, lipídios e carboidratos: calculados em base seca; %= g/100g

Resultados representam a média de três determinações $\pm$ desvio padrão;

Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); M.D.S.= mínima diferença significativa

A composição da farinha integral de trigo controle mostrou valores próximos aos encontrados na literatura (CHAVAN & KADAN, 1989). HAMAD & FIELDS (1979) obtiveram para farinha integral de trigo controle, conteúdo de proteína de 10,23% e PEDERSEN & EGGUM (1983) encontraram para farinha de trigo com 100% de extração

(14% de umidade), teor de cinzas e lipídios de 1,8 e 2,7%, respectivamente (o que em base seca equivale a 1,5 e 2,3%, respectivamente).

O teor de *proteína* aumentou significativamente e proporcionalmente ao tempo de germinação do trigo, de 10,04% na farinha integral controle até 11,56% na FITG112. O teor de *cinzas* também aumentou significativamente com o aumento do tempo de germinação do trigo, de 1,39% na farinha integral controle para 1,57% na FITG112. Estes resultados estão de acordo com a maioria dos estudos encontrados na literatura (LEMAR & SWANSON, 1972; RANHOTRA et al., 1977; NIELSEN et al., 1978 citados por CHAVAN & KADAN, 1989).

Segundo LORENZ (1980) e CHAVAN & KADAN (1989) tais aumentos tem sido atribuídos a perda de matéria seca, principalmente na forma de carboidratos, devido a respiração do grão ou a uma alteração das substâncias nitrogenadas durante a germinação, resultando, conseqüentemente, numa porcentagem aumentada de outros nutrientes. Embora o conteúdo de proteína e cinzas tende a aumentar durante a germinação, nem sempre isto acontece. Resultados contrários tem sido relatados (HWANG & BUSHUK, 1973; SHARMA et al., 1988).

O teor de *lipídios* das FITG manteve-se em torno de 2,2-2,0%, ou seja, não sofreu alteração significativa. Conforme CARVALHO & NAKAGAWA (1988) a maioria dos lipídios do trigo são triglicerídios, que são hidrolisados pelas lipases em glicerol e ácidos graxos, estes não se acumulam na semente: o glicerol passa a fazer parte do “pool” de carboidratos, tornando-se disponível para uma série de processos bioquímicos (como a respiração), enquanto os ácidos graxos acumulam em pequenas quantidades ou são degradados por processos de β -oxidação, resultando no complexo acetil-coenzima A, que é oxidado no ciclo de Krebs.

Os *carboidratos* foram calculados em base seca para que fosse possível fazer a comparação das diferentes amostras. Estes diminuíram significativamente com o aumento do tempo de germinação, o que já era esperado. No processo de germinação, o amido é quebrado em maltoligossacarídios. A α -amilase migra da aleurona para o endosperma, hidrolisando o amido em dextrinas (6-12 gli), a β -amilase hidrolisa estas em maltose e a α -glicosidase ou maltase hidrolisa a maltose (METIVIER, 1979).

LEMAR & SWANSON (1972) também encontraram uma redução nos teores de carboidratos totais durante a germinação de trigo por 3 dias.

4.2.3. Caracterização Microscópica

As farinhas integrais de trigo quando observadas ao *microscópio óptico sob luz normal* (**Figura 10**) caracterizaram-se por apresentarem grânulos de amido livres entre blocos de endosperma. As porções de endosperma apresentaram porções contendo desde frações de uma célula até porções contendo dezenas de células repletas de seu conteúdo. Juntamente com as porções de endosperma, foram visualizadas também as camadas testa, de aparência hialina e frações da aleurona.

A **Figura 10A** mostra a farinha integral controle, de trigo sem germinar. As setas indicam os blocos de endosperma (100x). As **Figuras 10B, 10C e 10D** apresentam as FITG48, FITG72 e FITG96, respectivamente. Estas 3 micrografias tomadas em mesmo aumento (100x) em relação ao controle, demonstram que não ocorreram modificações acentuadas de morfologia a este nível de observação. Até 96h de germinação do trigo ainda se encontram grânulos íntegros de amido, assim como porções reconhecíveis de endosperma. A **Figura 10D** (FITG96) mostra uma ampla porção da camada de aleurona.

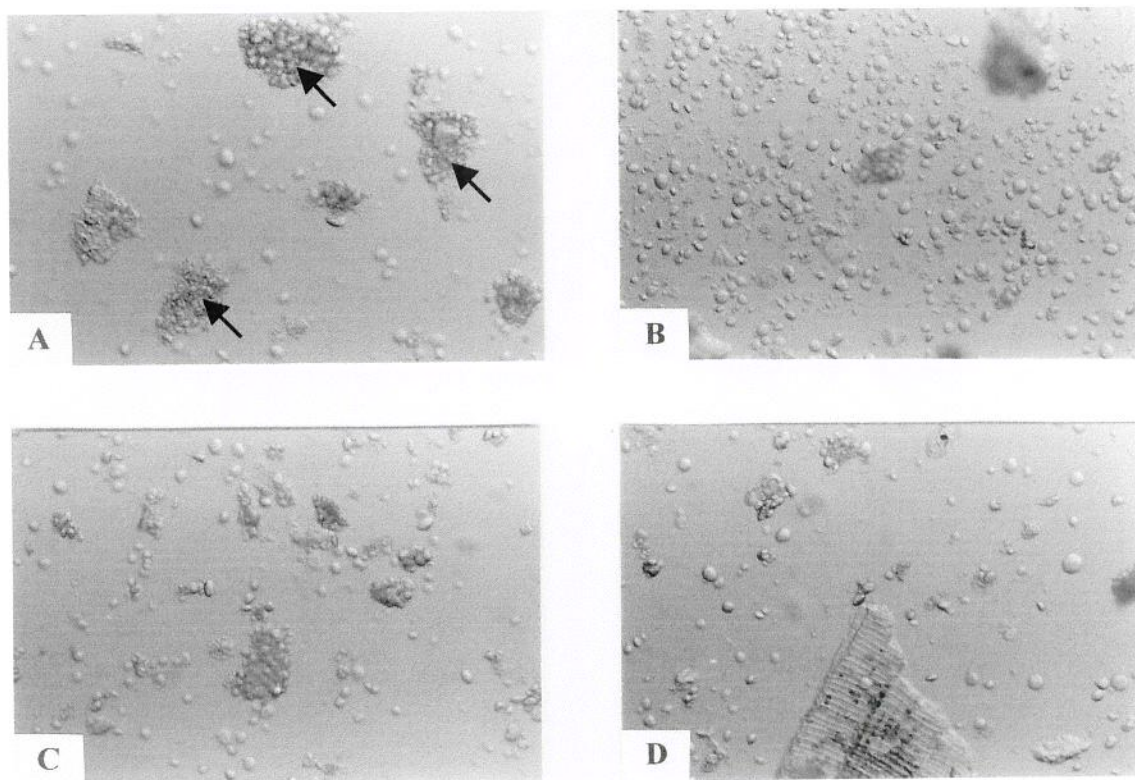


Figura 10. Micrografias ópticas sob luz normal

A– Farinha integral controle (100x); **B**– FITG48; (100x); **C**– FITG72 (100x); **D**– FITG96 (100x)

A microscopia sob luz polarizada é usada para detectar substâncias anisotrópicas que tenham estruturas internas cristalinas, apresentando mais de um índice de refração. Os amidos de trigo são incolores translúcidos, à microscopia de transmissão sem filtros interferentes e

apresentam birrefringência (“cruz Malteza”) quando examinados em microscopia sob luz polarizada (YIU, 1993).

As **Figuras 11A, 11B, 11C e 11D** apresentam a farinha integral controle e as FITG48, FITG72 e FITG96, respectivamente, *micrografadas sob luz polarizada* com o objetivo de mostrar que os grânulos de amido sob o processo germinativo conservaram expressiva cristalinidade. A **Figuras 11E e 11F** são genéricas, aparecendo em todas as amostras, e apresentam um fragmento de endosperma (em aumentos de 200x e 320x, respectivamente), onde cerca de 20 células, sob luz polarizada demonstram que a parede celulósica também não se alterou, visto que a refração atesta sua organização fibrilar ordenada.

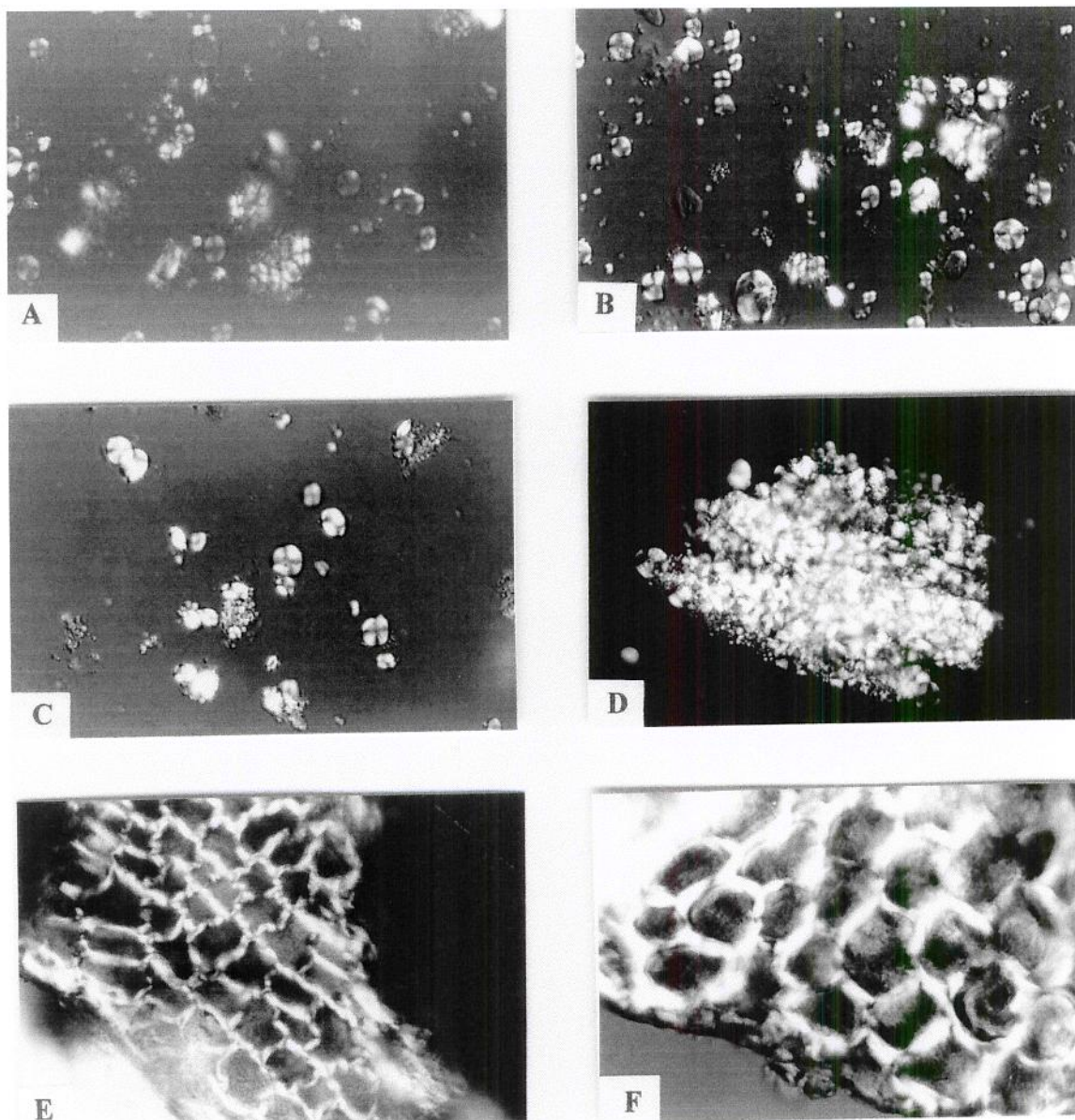


Figura 11. Micrografias ópticas sob luz polarizada
A- Farinha integral controle (200x); **B-** FITG48 (200x); **C-** FITG72 (200x); **D-** FITG96 (100x);
E- Fragmento de endosperma (200x); **F-** Fragmento de endosperma (320x)

Para um melhor detalhamento da morfologia as amostras foram observadas ao *microscópio de varredura* Jeol (**Figura 12**).

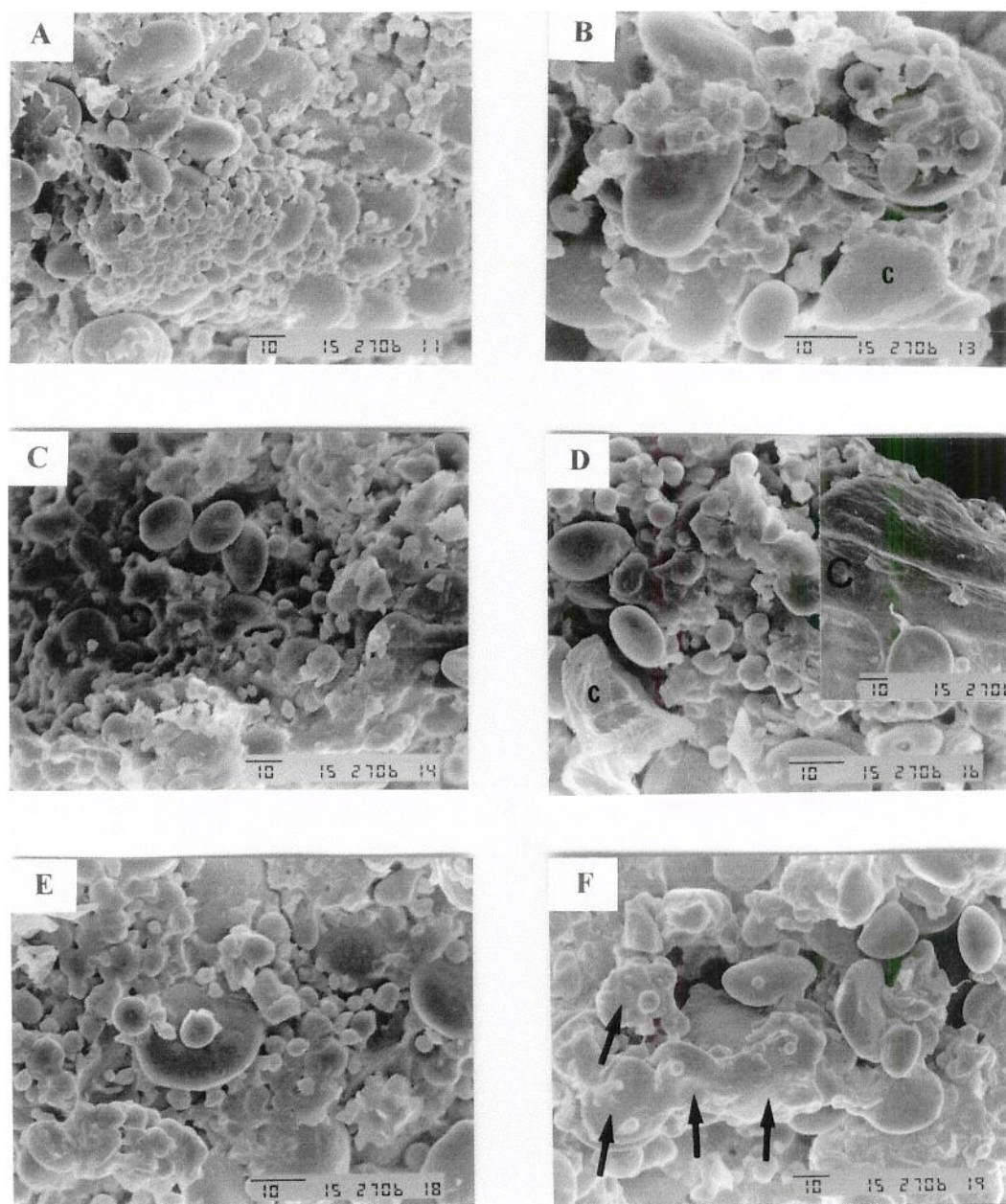


Figura 12. Micrografias eletrônicas de varredura (MEV)
A– Farinha integral controle (1000x); **B**– Farinha integral controle (2000x); **3C**– FITG48 (1000x);
D– FITG48 (1500x) com encarte (750x); **E**– FITG72 (1500x); **3F**– FITG96 (1000x)

A farinha controle (**Figura 12A**) em aumento de 1000x mostrou porções de endosperma contendo grânulos de amido e demais conteúdos, mantendo a organização intracelular de origem. O tamanho dos grânulos de amido variou entre 1 μ à 10 μ m. As menores formas esféricas podem ser corpos protéicos. A farinha controle (**Figura 12B**) em maior aumento (2000x) demonstra que entre os grandes e pequenos grânulos de amido ocorrem estruturas irregulares e achatadas que correspondem as membranas celulares e paredes celulósicas (c).

JANE et al. (1994) mostraram através de MEV, que devido a sua forma arredondada, os grânulos de amido de trigo possuem formato de disco e tem aparência de “panqueca americana”. Estes são relativamente espessos (6-10 μm) e a distribuição de tamanho é bimodal com formas arredondadas de 22-36 μm de diâmetro e com alguns grânulos muito pequenos com diâmetros de 2-3 μm .

A FITG48 (**Figura 12C**) não demonstra ainda alteração de estruturas (1000x). A FITG48 (**Figura 12D**) apresenta-se semelhante a farinha controle (**Figura 12B**). No encarte, vê-se um detalhe da parede celulósica (750x). Na FITG72 (**Figura 12E**) os grânulos de amido de pequeno diâmetro e, possivelmente, os corpos protéicos perdem a individualidade, isto é, parecem perder a forma e aglutinam-se como massas, comparando-se com a farinha controle (**Figura 12B**). Ainda ocorrem grandes grânulos de amido bem preservados externamente (1500x). Na FITG96 (**Figura 12F**) a aglutinação prosseguiu e as massas englobaram os grânulos menores, que se desfazem (↗↗↗). Os grânulos maiores estão entumescidos.

LINEBACK & PONPIPOM (1977), em seus estudos por MEV, em grãos de trigo vermelho duro de inverno germinado, encontraram material amorfo recobrimdo a maioria dos grânulos de amido no endosperma, durante estágios posteriores de germinação de trigo, sugerindo que o material amorfo pode ser dextrina resultante da degradação do amido pela α -amilase mas podem conter também proteínas ou peptídios. Notaram que, embora os grânulos de amido de farinhas de trigo germinado apresentassem uma atividade de α -amilase mais alta, a degradação enzimática foi menor do que a esperada.

4.2.4. Caracterização Nutricional

A qualidade nutricional dos cereais está diretamente relacionada com a natureza de armazenagem de nutrientes nos grãos. A maioria dos nutrientes dos cereais, tais como carboidratos e minerais, estão estruturalmente ligados. O processamento altera a organização estrutural do grão de cereal. Os resultados obtidos de muitos estudos nutricionais indicam que a estrutura e a forma física do cereal influenciam a disponibilidade dos nutrientes. As mudanças resultantes do processamento afetam diretamente a digestibilidade de amido, fitato e fibra alimentar do trigo (YIU, 1993).

4.2.4.1. Valor energético

O valor energético pode ser determinado por combustão completa em bomba calorimétrica adiabática (energia bruta) ou calculado através da composição centesimal da

amostra (energia metabolizável). Os resultados obtidos pela determinação na bomba calorimétrica e o cálculo teórico da distribuição de energia nas amostras, de acordo com a quantidade de proteína, lipídios e carboidratos estão na **Tabela 9**. A análise de variância da caracterização nutricional das FITG está apresentada no **Anexo 5B**.

Tabela 9. Estimativa do valor energético de farinhas integrais de trigo germinado

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	ENERGIA BRUTA (kcal / 100 g)	ENERGIA METABOLIZÁVEL (kcal / 100 g)
Controle	386,08 ± 1,08 ^c	354,59 ± 1,00 ^d
Germinado 32 h	393,06 ± 0,48 ^b	360,26 ± 1,56 ^{b,c}
Germinado 48 h	395,35 ± 0,25 ^{a,b}	361,04 ± 0,19 ^b
Germinado 72 h	396,36 ± 0,91 ^{a,b}	360,82 ± 1,15 ^{b,c}
Germinado 96 h	396,64 ± 3,22 ^{a,b}	359,15 ± 0,68 ^c
Germinado 112 h	399,97 ± 0,82 ^a	364,92 ± 0,81 ^a
M.D.S.	6,62	1,69

Resultados expressos em base seca e representam a média ± desvio padrão (energia bruta= 2 determinações, energia metabolizável= calculada pela média de 3 resultados); M.D.S.= mínima diferença significativa; Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

O valor energético foi significativamente maior nas FITG do que na farinha integral controle. Esta última apresentou 386,08 kcal/100g de energia bruta, o que está próximo a 1570 kJ/100g (375,24 kcal/100g), verificado por CHAVAN & KADAN (1989) em grãos de trigo que apresentaram teores de proteína e lipídios próximos aos do presente trabalho.

A *energia bruta* aumentou proporcionalmente ao tempo de germinação do trigo e a *energia metabolizável* apresentou pequenas variações da FITG32 até a FITG96, aumentando na FITG112, ou seja, os resultados foram proporcionais ao teor de lipídios das FITG.

A energia metabolizável foi menor que a energia bruta, porque considera somente a energia disponível, descontando-se o que foi eliminado nas fezes e na urina. Ou seja, a caloria liberada dos carboidratos e lipídios utilizados pelas células no corpo é quase a mesma que na bomba calorimétrica, já que são completamente oxidados em dióxido de carbono e água, mas isto não é válido para as proteínas; nestas, o grupo amina (NH_2) dos aminoácidos é excretado na urina, principalmente como uréia, pequenas quantidades de creatinina, ácido úrico e outros componentes (KRAUSE & MAHAN, 1985).

4.2.4.2. Açúcares, fibra alimentar e fitato

A **Tabela 10** apresenta os teores de açúcares, fibra alimentar e fitato nas farinhas produzidas de trigo germinado por diferentes tempos. A análise estatística encontra-se no **Anexo 5B**.

Tabela 10. Teores de açúcares totais e redutores, fibra alimentar e fitato de FITG

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	AÇÚCARES TOTAIS (%)	AÇÚCARES REDUTORES (%)	FIBRA ALIMENTAR (%)*	FITATO (%)*
Controle	1,26 ± 0,07 ^c	0,82 ± 0,02 ^d	9,35 ± 0,51 ^c	0,94 ± 0,02 ^a
Germinado 32 h	5,54 ± 0,44 ^{b,c}	4,45 ± 0,04 ^a	9,97 ± 0,04 ^{b,c}	0,75 ± 0,06 ^b
Germinado 48 h	4,27 ± 0,18 ^d	3,53 ± 0,01 ^c	9,80 ± 0,52 ^{b,c}	0,84 ± 0,03 ^{a,b}
Germinado 72 h	4,97 ± 0,36 ^c	4,05 ± 0,12 ^b	10,55 ± 0,31 ^{a,b}	0,81 ± 0,00 ^{a,b}
Germinado 96 h	5,88 ± 0,16 ^b	4,45 ± 0,07 ^a	10,12 ± 0,03 ^{a,b,c}	0,82 ± 0,05 ^{a,b}
Germinado 112 h	6,68 ± 0,12 ^a	4,21 ± 0,04 ^b	11,12 ± 0,06 ^a	0,79 ± 0,04 ^{a,b}
M.D.S.	0,69	0,18	1,15	0,16

Resultados expressos em base seca e representam a média ± desvio padrão (açúcares: 3 determinações; fibra alimentar: 4 determinações; fitato: 2 determinações); M.D.S = mínima diferença significativa;

Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Os açúcares totais e solúveis das FITG (Tabela 10) aumentaram significativamente e proporcionalmente ao tempo de germinação do trigo, com exceção da FITG32 que apresentou teores de açúcares comparáveis aos da FITG96 e, FITG72 para açúcares totais.

Consideráveis aumentos nos açúcares livres tem sido relatados durante a germinação de trigo (LORENZ, 1980). O aumento nos teores de açúcares pode ser atribuído a aumentada taxa de mobilização de carboidratos solúveis no endosperma dos grãos de trigo durante a germinação, ou seja, conforme DRONZEK et al. (1974) os grânulos de amido são gradualmente degradados por ação das amilases no grão de trigo e esta degradação é acompanhada pela produção de açúcares livres.

SHARMA et al. (1988) observaram mudanças significativas nos açúcares totais de grãos de trigo germinado por 24 e 48 horas. Os açúcares livres aumentaram de 4,73% no trigo sem germinar, para 5,71 e 6,66% nos grãos de trigo germinados por 24 e 48 horas, respectivamente. LEELAVATHI et al. (1990) também relataram aumento nos açúcares redutores de farinha de trigo germinado por 24, 48 e 72 horas.

O teor de fibra alimentar (Tabela 10), em geral, aumentou proporcionalmente ao tempo de germinação. Na FITG112 aumentou 19% em relação a farinha integral controle. Isto se deve, ao menos em parte, às farinhas de trigo germinado terem sido moídas e utilizadas integralmente, ou seja, sem a retirada das radículas e do coleóptilo. Pode ser também considerado um aumento relativo, devido à perda de matéria seca durante a germinação.

Conforme CHAVAN & KADAN (1989), os períodos de maceração e germinação, a inclusão ou não de radículas e coleóptilo durante a secagem e moagem do cereal germinado parecem influenciar o conteúdo de fibra da farinha produzida de cereais germinados.

Um aumento no consumo de fibra alimentar na dieta é recomendada, porém isto pode vir acompanhado por um aumento na ingestão de fitato (FREDLUND et al., 1997).

O teor de *fitato* quando comparado entre farinha integral controle e as FITG (Tabela 10) diminuiu significativamente após 32 horas de germinação (20%). Foram encontrados teores mais baixos de fitato na FITG48 (11%), FITG72 (14%), FITG96 (13%) e FITG112 (16%) em relação a farinha integral controle, embora estas diferenças não tenham sido estatisticamente significativas pelo teste de Tukey a 5%, que é bastante rígido.

BARTNIK & SZAFRANSKA (1987) concluíram que, embora a atividade da fitase aumente extensivamente durante a germinação dos grãos, não ocorre correspondente hidrólise do fitato no grão germinado. Foi encontrada uma redução de 24% no fitato após a germinação do trigo por 96 horas a 20°C.

4.2.4.3. Minerais

No processo de germinação, o embrião requer minerais como K, Mg, Ca e P, para a síntese de ATP, co-enzimas e ácidos nucleicos antes do início da absorção pelas raízes. Estes minerais são armazenados na forma de sais, que se acumulam na semente durante a maturação. O fósforo é estocado na forma de hexofosfato de fitina, sendo abundante em sementes de trigo. A enzima fitase começa a atuar durante a germinação, liberando minerais (METIVIER, 1979). Também ocorre considerável translocação de elementos minerais individuais durante a germinação (LORENZ, 1980; CHAVAN & KADAN, 1989).

Desta forma, as farinhas de trigo germinado teriam uma tendência de apresentar modificações neste sentido, porém, como mostrado na Tabela 11, os teores de minerais das FITG, em geral, não sofreram grandes alterações. Nas FITG, em relação a farinha integral controle, o teor de cálcio aumentou (de 33 à 67%), em parte por ação da fitase; podendo também ser considerado um aumento relativo, pela perda de matéria seca durante a germinação. Os teores de minerais que diminuíram, como o ferro (de 13 à 32%), podem ter sido perdidos na água durante a maceração do trigo. A FITG48 apresentou menores teores de minerais do que as demais farinhas, possivelmente, porque as modificações que ocorrem na composição química nem sempre são proporcionais ao tempo de germinação.

Tabela 11. Teores de macro e microelementos de farinhas integrais de trigo germinado

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	MACROELEMENTOS (mg/100g)				MICROELEMENTOS (mg/100g)				
	Cálcio	Fósforo	Potássio	Magnésio	Ferro	Cobre	Manganês	Zinco	Bário
Controle	30	410	360	160	6,0	0,52	5,3	3,3	< 0,4
Germinado 32 h	50	400	310	160	4,2	0,52	4,9	3,3	< 0,4
Germinado 48 h	40	370	280	140	4,1	0,47	4,5	2,8	< 0,4
Germinado 72 h	40	400	310	160	4,3	0,50	5,2	3,0	< 0,4
Germinado 96 h	40	410	310	160	4,3	0,51	5,2	2,9	< 0,4
Germinado 112 h	50	410	320	160	5,2	0,52	5,2	3,0	< 0,5

Resultados expressos em base seca e representam a média de 2 determinações

Resultados semelhantes foram encontrados por RANHOTRA et al. (1977) para farinhas integrais de trigo vermelho duro de inverno germinado por 0, 3 e 4 dias. Os teores de cálcio foram 34,9, 35,7 e 36,0 mg/100g; de magnésio 169,4, 160,3 e 164,7 mg/100g; de ferro 4,12, 3,50 e 3,54 mg/100g e de zinco 2,79, 2,90 e 2,99 mg/100g, respectivamente.

4.2.4.4. Vitaminas

A Tabela 12 mostra que a vitamina B₁ (tiamina) diminuiu e as vitaminas B₂ (riboflavina) e B₆ (piridoxina, piridoxal e piridoxamina) aumentaram significativamente em relação à farinha integral controle. Foram encontrados decréscimos de tiamina de 12 à 33%, enquanto os teores de riboflavina e piridoxina aumentaram de 64 à 102% e de 51 à 94%, respectivamente. A análise estatística encontra-se no Anexo 5B.

Tabela 12. Teores de vitaminas B₁, B₂ e B₆ das farinhas integrais de trigo germinado

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	-VIT. B ₁ - TIAMINA (mg/100g)	-VIT. B ₂ - RIBOFLAVINA (mg/100g)	-VIT. B ₆ - PIRIDOXINA (mg/100g)
Controle	0,166 ± 0,012 ^a	0,092 ± 0,006 ^b	0,035 ± 0,000 ^b
Germinado 32 h	0,146 ± 0,006 ^b	0,160 ± 0,000 ^a	0,067 ± 0,006 ^a
Germinado 48 h	0,134 ± 0,000 ^b	0,151 ± 0,013 ^a	0,058 ± 0,006 ^a
Germinado 72 h	0,134 ± 0,000 ^b	0,183 ± 0,006 ^a	0,053 ± 0,000 ^a
Germinado 96 h	0,111 ± 0,006 ^b	0,186 ± 0,000 ^a	0,062 ± 0,000 ^a
Germinado 112 h	0,135 ± 0,000 ^b	0,171 ± 0,013 ^a	0,068 ± 0,006 ^a
M.D.S.	0,022	0,038	0,020

Resultados expressos em base seca e representam a média de 2 determinações ± desvio padrão;

M.D.S. = mínima diferença significativa; Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

DANISOVÁ et al. (1994), observaram decréscimos nos teores de tiamina, de 9-45% em trigo germinado por 48 e 96 horas, que justificaram pelo fato da tiamina ser cofator de muitos sistemas enzimáticos e o rápido aumento na atividade enzimática no processo de germinação ser bem conhecido. Por outro lado, verificaram que o conteúdo de riboflavina aumentou apreciavelmente, de 90-180%.

MICHELA & LORENZ (1976) encontraram resultados bem mais altos nos teores de tiamina, riboflavina e piridoxina em grãos de trigo, em base seca, de 9,9, 3,1 e 4,7 µg/g, respectivamente (o que corresponde a 0,99, 0,31 e 0,47 mg/100g).

LEMAR & SWANSON (1976), ao analisarem farinhas integrais de trigo com 14% de umidade, encontraram na farinha controle, FITG por 1 dia e FITG por 3 dias, aumentos nos teores de tiamina de 0,56, 0,58 e 0,59 mg/100g e de riboflavina de 0,11, 0,15 e 0,16 mg/100g, respectivamente. Ou seja, os teores destas vitaminas aumentaram proporcionalmente ao tempo de germinação.

4.2.4.5. Composição em ácidos graxos

Na Tabela 13 observamos que as farinhas integrais de trigo apresentam altos teores de ácidos graxos insaturados (em torno de 75%), sendo o linoléico o ácido graxo insaturado predominante ($\cong 56\%$). O palmítico foi o ácido graxo saturado que apareceu em maior quantidade nas amostras analisadas ($\cong 20\%$).

A composição de ácidos graxos das FITG praticamente não se alterou em relação à amostra controle, o que está de acordo com LEMAR & SWANSON (1976), que indicaram não haver diferenças na composição em ácidos graxos entre trigo germinado e sem germinar.

Tabela 13. Composição em ácidos graxos das farinhas integrais de trigo germinado

FARINHA INTEGRAL DE TRIGO	ÁCIDOS GRAXOS (%)									
	SATURADOS						INSATURADOS			
	C10:0 Cáprico	C12:0 Láurico	C14:0 Mirístico	C16:0 Palmítico	C18:0 Estearico	TOTAL (%)	C18:1 Oléico	C18:2 Linoléico	C18:3 Linolênico	TOTAL (%)
Controle	1,81	0,26	0,22	20,55	1,02	23,86	13,63	56,73	5,77	76,13
Germ. 32 h	1,93	0,37	1,19	19,90	0,83	24,22	11,93	57,01	6,84	75,78
Germ. 48 h	1,76	0,31	0,27	20,08	1,15	23,57	12,13	57,39	6,91	76,43
Germ. 72 h	2,21	0,43	0,40	19,58	1,46	24,08	11,83	56,13	7,97	75,93
Germ. 96 h	2,04	0,41	0,36	20,19	1,35	24,35	11,43	56,72	7,49	75,64
Germ. 112 h	2,83	0,61	0,70	19,61	1,86	25,61	11,70	54,30	8,39	74,39

Os resultados obtidos não foram muito diferentes da composição em ácidos graxos de farinha de trigo de baixa extração de CLAYTON & MORRISON (1972), que apresentou 17,4% de ácido palmítico, 1,3% de ácido estearico, 10,8% de ácido oléico, 65,7% de ácido linoléico, 4,2% de ácido linolênico e 0,6% de outros.

Segundo MAYER & POLJAKOFF-MAYBER (1989), os lipídios nem sempre são convertidos em carboidratos durante a germinação. O curso da hidrólise de ácidos graxos difere na luz e no escuro, enquanto na luz todos os ácidos graxos são hidrolisados numa mesma proporção, no escuro o ácido linolênico desaparece numa maior razão que na luz. Todos os ácidos graxos são metabolizados numa mesma proporção, porém, os ácidos graxos saturados desaparecem mais rapidamente que os insaturados.

Conforme MOLTEBERG et al. (1995), a redução do ácido linoléico durante o processamento está relacionada a um aumento no conteúdo de produtos de oxidação voláteis, dos quais o hexanal é um indicador.

4.2.4.6. Composição em aminoácidos e escore químico

O valor nutritivo de uma proteína depende, sobretudo, de sua capacidade de fornecer nitrogênio e aminoácidos, em quantidades adequadas para suprir as necessidades do organismo. Assim, em teoria, a abordagem mais lógica para avaliar a qualidade protéica é comparar o conteúdo de aminoácidos de um alimento com as necessidades humanas, através do escore químico (BOUTRIF, 1991).

Na Tabela 14 é mostrada a composição em aminoácidos e escore químico das proteínas de farinhas integrais de trigo germinado e perfil de aminoácidos essenciais para uma proteína ideal, segundo recomendações da FAO/WHO/UNU (1985) para pré-escolares de 2 a 5 anos de idade.

Tabela 14. Composição em aminoácidos e escore químico das proteínas de farinhas integrais de trigo germinado e perfil de aminoácidos essenciais para uma proteína ideal, segundo recomendações da FAO/WHO/UNU (1985) para pré-escolares de 2 a 5 anos de idade

AMINOÁCIDO	AMINOÁCIDOS (g / 100 g proteína*)						PADRÃO FAO
	FIT Controle	FITG32	FITG48	FITG72	FITG96	FITG112	(g/100g)**
Ácido aspártico (Asp)	5,67 ± 0,11	7,45 ± 0,03	6,94 ± 0,27	7,60 ± 1,35	7,81 ± 0,41	8,55 ± 0,18	-
Treonina (Thr)	3,27 ± 0,10	3,39 ± 0,06	3,33 ± 0,13	3,38 ± 0,59	3,26 ± 0,10	3,44 ± 0,03	3,4
Serina (Ser)	4,60 ± 0,19	4,37 ± 0,11	4,37 ± 0,19	4,38 ± 0,80	4,28 ± 0,09	4,34 ± 0,07	-
Ácido glutâmico (Glu)	31,10 ± 0,29	27,96 ± 0,40	28,46 ± 1,06	27,77 ± 4,93	26,77 ± 0,86	26,34 ± 0,34	-
Prolina (Pro)	10,61 ± 0,10	11,09 ± 0,04	10,77 ± 0,42	10,74 ± 1,93	10,86 ± 0,36	10,83 ± 0,17	-
Glicina (Gly)	4,27 ± 0,13	4,28 ± 0,11	4,24 ± 0,23	4,22 ± 0,74	4,19 ± 0,16	4,30 ± 0,10	-
Alanina (Ala)	3,66 ± 0,12	4,06 ± 0,10	3,95 ± 0,19	4,10 ± 0,73	4,08 ± 0,12	4,25 ± 0,07	-
Cistina [Cys] ₂	4,10 ± 0,02	3,87 ± 0,07	4,03 ± 0,07	3,83 ± 0,07	3,98 ± 0,14	3,90 ± 0,03	-
Valina (Val)	4,43 ± 0,07	4,73 ± 0,06	4,72 ± 0,10	4,81 ± 0,99	4,76 ± 0,05	4,79 ± 0,08	3,5
Metionina (Met)	2,30 ± 0,00	2,05 ± 0,07	2,16 ± 0,06	2,06 ± 0,04	2,16 ± 0,08	2,23 ± 0,23	-
Isoleucina (Ile)	3,49 ± 0,05	3,65 ± 0,07	3,75 ± 0,12	3,79 ± 0,89	3,70 ± 0,12	3,63 ± 0,06	2,8
Leucina (Leu)	6,94 ± 0,12	6,81 ± 0,08	6,91 ± 0,11	6,92 ± 1,40	6,78 ± 0,02	6,68 ± 0,06	6,6
Tirosina (Tyr)	1,73 ± 0,06	1,74 ± 0,11	1,87 ± 0,22	1,89 ± 0,50	1,86 ± 0,18	1,75 ± 0,02	-
Fenilalanina (Phe)	4,60 ± 0,06	4,62 ± 0,03	4,69 ± 0,03	4,73 ± 0,96	4,67 ± 0,02	4,58 ± 0,06	-
Histidina (His)	2,46 ± 0,05	2,35 ± 0,03	2,47 ± 0,11	2,32 ± 0,42	2,30 ± 0,07	2,36 ± 0,04	1,9
Lisina (Lys)	2,77 ± 0,10	3,30 ± 0,08	3,24 ± 0,17	3,30 ± 0,58	3,28 ± 0,06	3,53 ± 0,05	5,8
Triptofano (Trp)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,1
Amônia	3,08 ± 0,16	3,07 ± 0,18	2,96 ± 0,10	2,99 ± 0,47	2,89 ± 0,25	3,07 ± 0,21	-
Arginina (Arg)	3,98 ± 0,10	4,26 ± 0,05	4,09 ± 0,06	4,16 ± 0,64	5,25 ± 0,98	4,48 ± 0,23	-
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-
metionina + cistina	6,40	5,92	6,19	5,89	6,14	6,13	2,5
fenilalanina + tirosina	6,28	6,36	6,56	6,62	6,53	6,33	6,3
ESCORE QUÍMICO	48	57	56	57	57	61	-

*proteína = N x 5,7; N.D.=não determinado; Resultados expressos em base seca;

Resultados da composição em aminoácidos representam a média de 3 determinações ± desvio padrão

Escore químico (EQ) = (g aa/ 100g prot.)/Padrão FAO x 100 = EQ do aminoácido limitante, neste caso, a lisina;

**Padrão FAO/WHO/UNU (1985) para pré-escolares de 2 a 5 anos de idade: proteína = N x 6,25 (transformado de mg aa/g de proteína para g aa/100g proteína);

Na **Tabela 14** observa-se que os aminoácidos com grupos carboxílicos livres (Asp e Glu), estão presentes em quantidades substanciais no trigo, embora tenham diminuído de 37% na farinha controle para 35% nas FITG. Os aminoácidos com cadeias hidrofóbicas (Ala, Gly, Ile, Leu, Met, Pro e Val) estão presentes em 35,5% na farinha controle e 35,6% (em média) nas FITG; enquanto os hidrofílicos (Ser, [Cys]₂ e Thr) em 12% na farinha controle e 11,6% (em média) nas FITG. Os aminoácidos básicos totais (Lys, His e Arg) estão presentes em torno de 9% na farinha controle e 10% nas FITG e os aminoácidos aromáticos (Phe e Tyr) em 6% na farinha controle e em torno de 6,5% (em média) nas FITG. O aminoácido presente em menor quantidade foi a tirosina e o em maior, o ácido glutâmico.

Em geral, o conteúdo de aminoácidos aumentou com a germinação do trigo, porém houveram algumas exceções: os teores de serina, ácido glutâmico, cistina, metionina e histidina, diminuíram.

A porcentagem de nitrogênio determinado como amônia (em torno de 3%) pode ser, em parte devido a aminas do ácido glutâmico e ácido aspártico e aminoácidos instáveis de origem não protéica conhecidos por estarem presentes em sementes de várias espécies vegetais (LORANT, 1979 citado por PETZKE et al., 1997).

Baseados nas necessidades de aminoácidos para humanos (FAO/WHO/UNU, 1985) foram calculados os aminoácidos limitantes e o escore de aminoácidos. Este último é baseado nos 9 aminoácidos (EAA₉) requeridos para humanos. A lisina foi calculada como o primeiro aminoácido limitante, seguido pela treonina, em todas as amostras.

Na farinha integral controle foi encontrado 2,77 g/100g de lisina e 3,27 g/100g de treonina e o *escore químico* foi 48. Na FITG112 os teores de lisina e treonina aumentaram em relação aos da farinha controle, em 27% e 5%, respectivamente. As FITG apresentaram escore químico na faixa de 56-61, ou seja, superiores aos encontrados na farinha controle.

Os outros aminoácidos essenciais, além da lisina e treonina também aumentaram com a germinação, com exceção da histidina. Porém, os teores de histidina encontrados nas farinhas foram superiores ao recomendado pelo padrão da FAO.

4.2.4.7. Índices de avaliação “in vitro”

Na **Tabela 15** encontramos os índices de avaliação “in vitro”: teores de lisina total, lisina disponível, digestibilidade “in vitro” e digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos (PDCAAS*) calculada através da digestibilidade verdadeira¹ e digestibilidade “in vitro”² de FITG. A análise estatística encontra-se no **Anexo 5B**.

Tabela 15. Teores de lisina total, lisina disponível, digestibilidade “in vitro” e digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos (PDCAAS*) calculada através da digestibilidade verdadeira¹ e digestibilidade “in vitro”² de FITG

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	Lisina total (g Lys / 100 g proteína)	Lisina disponível (g Lys / 100g proteína)	Disponibilidade de lisina (%)	Digestibilidade “in vitro” (%)	PDCAAS ¹ (%)**	PDCAAS ² (%)***
Controle	2,77 ± 0,10	1,92 ± 0,10 ^b	69	88 ± 2 ^{n.s.}	42	42
Germinado 32 h	3,30 ± 0,08	3,92 ± 0,05 ^a	119 *	101 ± 4 ^{n.s.}	50	58
Germinado 48 h	3,24 ± 0,17	4,05 ± 0,11 ^a	125 *	97 ± 6 ^{n.s.}	49	54
Germinado 72 h	3,30 ± 0,58	4,16 ± 0,05 ^a	126 *	102 ± 2 ^{n.s.}	50	58
Germinado 96 h	3,28 ± 0,06	4,09 ± 0,02 ^a	125 *	84 ± 4 ^{n.s.}	49	47
Germinado 112 h	3,53 ± 0,05	3,83 ± 0,05 ^b	109 *	92 ± 6 ^{n.s.}	53	56
M.D.S.	-	0,36	-	20	-	-

♦ Valores superiores a 100%; * PDCAAS = (EQ x digestibilidade)/100; ** PDCAAS¹ = digestibilidade verdadeira do grão de trigo = 87% (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 1993); *** PDCAAS² = calculado pela digestibilidade “in vitro”; Resultados expressos em base seca e representam a média ± desvio padrão (lisina total e lisina disponível: 3 determinações; digestibilidade “in vitro”: 2 determinações); M.D.S. = mínima diferença significativa; Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05); n.s. = não significativo

O valor de lisina disponível encontrado na farinha integral controle foi de 1,92 g de lisina/100g de proteína; o que corresponde a 69% de lisina disponível em relação a lisina total (Tabela 15). Contudo, foram obtidos valores superiores a 100% para a disponibilidade de lisina presente nas FITG (de 109 à 126%), em relação a lisina total. Uma possível explicação para isto seria o fato de que a técnica empregada para determinar lisina disponível utiliza o reagente TNBS, que não faz distinção entre os grupos ϵ -amino da lisina e os α -amino dos aminoácidos N-terminais, reagindo com ambos. Caso a extração dos derivados α -amino com éter etílico não seja completa, estes podem ficar na fase aquosa juntamente com o derivado ϵ -lisina sendo computados como derivado ϵ -lisina, resultando em altos valores de lisina disponível e, conseqüentemente, em uma alta taxa de disponibilidade em relação à lisina total.

PETZKE et al. (1997) também encontraram resultados de disponibilidade de lisina superestimados (de 115 a 233%) em sementes da família das leguminosas, o que atribuíram a fatores da matriz da amostra relacionados aos constituintes carboidratos.

A digestibilidade protéica determina a disponibilidade dos aminoácidos contidos nas proteínas alimentares. A digestibilidade “in vitro” não apresentou diferenças significativas quando foram comparadas as farinhas integrais de trigo controle e FITG (Tabela 15). Foi encontrado 88% de digestibilidade “in vitro” para a farinha integral controle, que está de acordo com dados encontrados na literatura.

Conforme o FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (1993), o valor que consta no Apêndice B para a digestibilidade verdadeira do grão de trigo é 87%. MILADI et al. (1972) obtiveram para o trigo integral 91% de digestibilidade “in vitro”, enquanto que TAVERNER

& FARRELL (1981a) encontraram para trigos de diferentes variedades, valores de digestibilidade “in vitro” na faixa de 80 a 91% e TAVERNER & FARRELL (1981b) valores médios para o trigo de 92%.

WOLZAK et al. (1981) compararam as estimativas de digestibilidade “in vivo” e “in vitro” de várias proteínas vegetais, obtendo para o trigo integral 81,6 e 90,7%, respectivamente, e encontraram correlações altamente significativas entre os 2 métodos.

Para melhorar a exatidão dos procedimentos de escore, o conteúdo de aminoácidos determinados quimicamente pode ser corrigido pela digestibilidade (BOUTRIF, 1991). A digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos (PDCAAS) é geralmente calculada usando valores de digestibilidade verdadeira. Contudo, BOUTRIF (1991) sugere que procedimentos promissores de digestibilidade “in vitro” sejam aperfeiçoados e avaliados. PETZKE et al. (1997) utilizaram a digestibilidade protéica “in vitro” para este cálculo, baseados em AKESON & STAHMANN (1964) que demonstraram ser análogos aos resultados obtidos por métodos “in vivo” aplicados em ratos.

A PDCAAS da farinha integral controle foi 42%, bem próximo do valor obtido por HENLEY & KUSTER (1994) que citam 0,40 ou 40% para a PDCAAS da proteína do grão de trigo. A PDCAAS das FITG encontrou-se na faixa de 49-53%, sendo superior ao da farinha integral controle.

4.2.5. Caracterização Tecnológica

4.2.5.1. Propriedades físicas

Na Tabela 16 são mostradas as propriedades físicas das FITG. A análise de variância das análises realizadas para a caracterização tecnológica das FITG está no Anexo 5C.

Tabela 16. Propriedades físicas avaliadas nas farinhas integrais de trigo germinado

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	FALLING NUMBER	DENSIDADE APARENTE	COR			
			L*	a*	b*	ΔE*
Controle	441 ± 8 ^a	0,70 ± 0,01 ^{a,b}	81,58 ± 2,95 ^{a,b}	2,93 ± 1,12 ^{a,b}	11,99 ± 1,65 ^c	Padrão
Germinado 32 h	62 ± 0 ^b	0,68 ± 0,01 ^c	80,77 ± 1,19 ^{a,b}	2,71 ± 0,36 ^{a,b}	15,83 ± 1,16 ^{a,b}	3,93 ± 1,24 ^{a,b}
Germinado 48 h	62 ± 0 ^b	0,71 ± 0,00 ^a	83,48 ± 0,36 ^a	1,87 ± 0,10 ^b	14,42 ± 0,45 ^b	3,29 ± 0,26 ^b
Germinado 72 h	62 ± 0 ^b	0,69 ± 0,00 ^{b,c}	82,52 ± 0,95 ^a	2,02 ± 0,36 ^b	14,96 ± 0,49 ^{a,b}	3,36 ± 0,30 ^{a,b}
Germinado 96 h	62 ± 0 ^b	0,68 ± 0,01 ^c	77,22 ± 3,24 ^b	3,89 ± 1,30 ^a	17,03 ± 1,47 ^a	6,98 ± 3,06 ^a
Germinado 112 h	62 ± 0 ^b	0,68 ± 0,00 ^c	80,51 ± 1,14 ^{a,b}	2,84 ± 0,44 ^{a,b}	16,81 ± 0,87 ^{a,b}	5,02 ± 1,04 ^{a,b}
M.D.S.	13,55	0,02	4,52	1,78	2,39	3,65

Resultados representam a média ± desvio padrão (densidade aparente e cor= 3 determinações; Falling number= 2 determinações); M.D.S.= mínima diferença significativa; Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05); L*=luminosidade; a* (+=cor vermelha) e b* (+=cor amarela)= são coordenadas de cromaticidade; ΔE*= diferença de cor

Os valores mais baixos de *Falling Number* (FN) nas FITG do que na farinha integral controle, são um indicativo do grau de degradação do amido e/ou aumento na atividade enzimática devido à germinação. Após 32 horas de germinação, os valores de FN diminuíram significativamente e a farinha moída integralmente alcançou um valor de FN de 62, o mais baixo valor obtido no instrumento (Tabela 16). Outros pesquisadores também encontraram FN de 62 em farinhas de trigo germinado (LORENZ & VALVANO, 1981; LUKOW & BUSHUK, 1984; LEELAVATHI & HARIDAS-HAO, 1988; LEELAVATHI et al., 1990 e SHASHIKUMAR et al., 1993).

Quando produtos como farinhas são misturados, transportados, armazenados e envazados, é importante conhecer as propriedades do material em seu conjunto. Quando o sólido é colocado em um recipiente, o volume total ocupado conterá uma proporção substancial de ar. A porosidade do material envasado é aquela fração de volume total que está ocupada pelo ar e é afetada pela geometria, tamanho e propriedades superficiais do produto. Quando o recipiente é agitado para compactar seu conteúdo, o volume total e a porosidade diminuirão até que o sistema alcance um volume de equilíbrio. A densidade do produto, nestas condições, é conhecida como densidade aparente (LEWIS, 1993). Cita-se que a densidade aparente de trigo na forma de pó é de 785 kg.m^{-3} e da farinha 449 kg.m^{-3} (WILSON & KIRK, 1980 citados por LEWIS, 1993).

A densidade aparente diminuiu significativamente nas FITG32, FITG96 e FITG112 em relação à da farinha controle. Isto se relaciona, ao menos em parte, à diminuição da granulometria devido as alterações na composição química, resultando em partículas com diferentes densidades, em decorrência do processo de germinação do trigo (Tabela 16).

A formação de cor pode fornecer importante informação sobre o processamento. A cor é também uma importante característica de qualidade dos alimentos. Observando-se os resultados de cor, nota-se que a coordenada de cromaticidade b^* (cor amarela) das FITG (Tabela 16) apresentou diferença significativa em relação à do controle, aumentando seus valores proporcionalmente ao tempo de germinação nas FITG48, FITG72 e FITG96.

As diferenças de luminosidade (L^*) entre as FITG e a farinha integral controle, não foram significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Contudo, a farinha integral controle apresentou uma luminosidade intermediária entre a FITG72 e a FITG96, indicando que as FITG não sofreram muitas alterações em relação ao controle. Foi notada uma tendência das FITG serem mais escuras (menor luminosidade) à medida que aumentou o tempo de germinação do trigo nas FITG48, FITG72 e FITG96, ou seja, as FITG foram suavemente mais escuras com tempos de germinação mais longos.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por LORENZ & VALVANO (1981) que determinaram luminosidade e diferença de cor pelo sistema de Hunter, encontrando que as farinhas foram ligeiramente mais escuras com tempos de germinação do grão mais longos e relataram que o conteúdo mais alto de cinzas das farinhas de grãos germinados por 48 e 96 horas foi, provavelmente, em parte, responsável pelos baixos valores de luminosidade.

A coordenada de cromaticidade a^* (cor vermelha) não sofreu alterações devido à germinação e os valores de diferença de cor (ΔE^*) foram mais altos com o aumento do tempo de germinação, embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.5.2. Propriedades funcionais

A Tabela 17 apresenta as propriedades funcionais das FITG. A análise estatística da caracterização tecnológica das FITG encontra-se no Anexo 5C.

Tabela 17. Propriedades funcionais avaliadas nas farinhas integrais de trigo germinado

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	IAA (g gel / g mat.seca)	ISA (%)	TEMPERATURA DE PASTA (°C)	VISC. MÁXIMA (cP)	TEMPO DE VISC. MÁXIMA (min.)
Controle	2,19 ± 0,01 ^a	8,61 ± 0,06 ^e	49,90 ± 0,00 ^{n.s.}	1465,50 ± 126,161 ^a	6,44 ± 0,05 ^a
Germinado 32 h	2,05 ± 0,01 ^b	25,16 ± 0,25 ^c	49,93 ± 0,00 ^{n.s.}	16,00 ± 1,41 ^b	3,53 ± 0,13 ^b
Germinado 48 h	1,93 ± 0,03 ^c	21,20 ± 0,49 ^d	49,83 ± 0,04 ^{n.s.}	22,00 ± 0,00 ^b	3,62 ± 0,00 ^b
Germinado 72 h	2,03 ± 0,04 ^b	27,87 ± 0,25 ^b	49,90 ± 0,14 ^{n.s.}	107,00 ± 9,90 ^b	0,02 ± 0,00 ^c
Germinado 96 h	2,06 ± 0,02 ^b	31,62 ± 0,09 ^a	49,93 ± 0,04 ^{n.s.}	117,00 ± 4,24 ^b	0,01 ± 0,00 ^c
Germinado 112 h	2,06 ± 0,00 ^b	31,35 ± 0,44 ^a	49,78 ± 0,00 ^{n.s.}	114,50 ± 0,71 ^b	0,02 ± 0,00 ^c
M.D.S.	0,05	0,82	0,32	223,75	0,25

Resultados representam a média ± desvio padrão (IAA e ISA: 3 determinações; características de pasta: 2 determinações); M.D.S.= mínima diferença significativa; Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); n.s.= não significativo ($p \leq 0,05$)

Observa-se que o índice de absorção de água (IAA) diminuiu e o índice de solubilidade em água (ISA) aumentou significativamente nas FITG em relação aos da farinha controle (Tabela 17). O IAA praticamente não se alterou entre as FITG, enquanto o ISA aumentou consideravelmente da FITG48 até a FITG96.

A capacidade de ligar água das FITG foi significativamente menor (diminuiu até 12% na FITG48) do que a da farinha integral controle (Tabela 17). O IAA depende da disponibilidade de grupos hidrofílicos para ligarem-se às moléculas de água. Assim, as modificações na capacidade de absorção de água são consequência da degradação de macromoléculas, como o amido e proteínas e a síntese de novos compostos durante o processo de germinação do trigo, que nem sempre ocorrem proporcionalmente ao tempo de germinação e tem efeito sobre a granulometria, que nas FITG foi bem menor do que a da

farinha controle, conseqüentemente o IAA desta última foi maior devido os componentes da mesma estarem intactos e mais disponíveis para ligarem água.

O *ISA* aumentou proporcionalmente ao tempo de germinação do trigo (Tabela 17). As mudanças observadas nas propriedades de solubilidade podem ser explicadas em termos de hidrólise de ligações peptídicas, com conseqüente aumento no número de grupos amino livres, pelo aumento da atividade proteolítica que se desenvolve durante a germinação (HWANG & BUSHUK, 1973) e também, pela degradação do amido pelas enzimas hidrolíticas, em açúcares solúveis, à medida que aumenta o tempo de germinação.

A *viscosidade* é um parâmetro muito importante nas propriedades funcionais de um alimento ou matéria-prima. Nas suspensões de farinhas de cereais, a viscosidade depende da capacidade dos grânulos de amido para absorver água, inchar-se, romper-se e difundir-se no meio líquido. A modificação dos grânulos de amido, por processo de gelatinização, causa profundas modificações nas características de viscosidade das farinhas. Com o aquecimento, os grânulos de amido intumescem e logo se rompem por efeito da quebra das ligações, perdendo a estrutura característica e gelatinizando por efeito térmico (GUERRA, 1984).

Quando se comparou as *características de viscosidade* da farinha integral controle com as FITG, observou-se que: a *temperatura de pasta* praticamente não se alterou e a *viscosidade máxima* e o *tempo de viscosidade máxima* diminuíram significativamente. Em relação a viscosidade máxima, não foram observadas diferenças entre as FITG, embora os valores tenham aumentado com a germinação, já o tempo de viscosidade máxima diminuiu significativamente da FITG32 e FITG48 para as FITG72, FITG96 e FITG112 (Tabela 17).

BELÉIA & GROSSMANN (1990) notaram que a viscosidade máxima no amilógrafo foi baixa, mesmo para a farinha de trigo com o menor índice de germinação, e reduziu-se ainda mais com o aumento do grau de germinação. Esta mesma tendência foi detectada na viscosidade a 95°C e 50°C. Isto, aliado à redução da temperatura de viscosidade máxima, indica aumento do nível de α -amilase e enfraquecimento da estrutura dos grânulos de amido.

A variação na viscosidade devido ao processo de germinação, pode ser muito interessante para produção de alimentos que precisam de uma determinada consistência, assim variando-se o tempo de germinação teremos farinhas com diferentes níveis de viscosidade, podendo ter várias aplicações alimentares. Um exemplo é que as FITG por diminuírem a viscosidade de pasta podem ser adicionadas em maior quantidade a alimentos infantis para torná-los mais fluidos, fazendo com que a criança consiga ingerir mais alimento e, conseqüentemente, mais calorias. Além disso, um produto menos viscoso apresenta vantagem tecnológica em processamento, como no transporte por tubulações.

4.2.6. Estabilidade ao Armazenamento

4.2.6.1. pH

JESSEN-HANSEN (1911) citado por JOHNSON & GREEN (1931) foi o primeiro a expressar o aumento da acidez de farinhas armazenadas em termos de concentração de ion hidrogênio de seus extratos e demonstrar que as farinhas aumentaram sua concentração em ion hidrogênio durante o armazenamento.

De acordo com GRACZA (1965), uma vez que a concentração ion-hidrogênio está diretamente relacionada com as medidas de acidez titulável, dados de pH foram registrados em estudos de armazenagem. Concluíram que o pH da farinha de trigo diminui com o envelhecimento, de acordo com os níveis de mudança da acidez.

A variação do pH de acordo com o tempo armazenamento das FITG é mostrada na Tabela 18. Comparando-se as FITG48 até a FITG96 observamos que o pH diminuiu com o aumento do tempo de germinação das farinhas integrais de trigo e com o tempo de armazenamento das farinhas. O pH da farinha integral controle foi sempre maior que o das FITG.

Tabela 18. Variação do pH de acordo com o tempo de armazenamento das FITG

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	pH			
	t ₀ (0 meses)	t ₁ (2 meses)	t ₂ (4 meses)	t ₃ (6 meses)
Controle	6,51	6,27	6,22	6,09
Germinado 32 h	6,15	5,99	5,87	5,72
Germinado 48 h	6,34	6,13	6,10	6,05
Germinado 72 h	6,20	6,03	5,97	5,80
Germinado 96 h	6,15	5,96	5,84	5,70
Germinado 112 h	6,28	6,01	6,09	5,97

Resultados próximos ao da farinha controle foram encontrados por JOHNSON & GREEN (1931) em trigo moído (pH de 6,39) e por SHARP (1924) em trigo moído armazenado à 22°C por 0, 4 e 8 meses, verificando pH de 6,40, 6,36 e 6,31, respectivamente.

LARSSON & SANDBERG (1995) em estudo sobre maltagem de aveia, observaram uma redução do pH, que provavelmente resultou da produção de ácido láctico durante a maceração (16 h) à temperatura ambiente e sugerem que isto explique porque as suspensões de aveia mostraram-se resistentes a contaminação microbiana durante a maceração. Contudo, JOHNSON & GREEN (1931) encontraram pequenas quantidades de ácido láctico em solução aquosa, concluindo que os ácidos graxos formados durante o armazenamento da farinha de trigo podem ser, sozinhos, os responsáveis pelo aumento na concentração de ion hidrogênio que ocorreu durante o armazenamento.

4.2.6.2. Acidez álcool-solúvel

As farinhas armazenadas por um longo período aumentam sua acidez. Isto tem sido atribuído à ocorrência de vários fenômenos diferentes: hidrólise gradual de lipídios, produzindo ácidos graxos; hidrólise de proteínas, produzindo aminoácidos ou produtos intermediários da decomposição de proteínas e separação enzimática da fitina, produzindo ácido fosfórico (JOHNSON & GREEN, 1931).

A Tabela 19 mostra a variação de acidez álcool-solúvel de acordo com o tempo de armazenamento das FITG. A análise de variância de estabilidade ao armazenamento das FITG estão no Anexo 5D e 5E.

Tabela 19. Variação da acidez álcool-solúvel conforme o tempo de armazenamento das FITG

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL (mL de solução N% v/p)			
	t ₀ (0 meses)	t ₁ (2 meses)	t ₂ (4 meses)	t ₃ (6 meses)
Controle	1,43 ± 0,01 ^{c D}	2,24 ± 0,04 ^{d C}	2,99 ± 0,04 ^{c B}	4,20 ± 0,00 ^{c A}
Germinado 32 h	1,30 ± 0,00 ^{d D}	2,81 ± 0,00 ^{c C}	3,63 ± 0,03 ^{b B}	5,41 ± 0,03 ^{c A}
Germinado 48 h	1,14 ± 0,01 ^{e C}	1,87 ± 0,05 ^{e B}	2,62 ± 0,04 ^{d A}	3,70 ± 0,01 ^{f A}
Germinado 72 h	1,39 ± 0,03 ^{c D}	2,68 ± 0,03 ^{c C}	2,96 ± 0,01 ^{c B}	5,93 ± 0,00 ^{b A}
Germinado 96 h	1,95 ± 0,01 ^{a D}	3,56 ± 0,04 ^{b C}	4,65 ± 0,03 ^{a B}	5,38 ± 0,00 ^{d A}
Germinado 112 h	1,80 ± 0,00 ^{b D}	3,87 ± 0,15 ^{a C}	4,79 ± 0,05 ^{a B}	6,12 ± 0,02 ^{a A}
M.D.S.	0,69 (C)	0,18 (C)	1,15 (C)	0,16 (C)

Resultados expressos em base seca e representam a média de 2 determinações ± desvio padrão;

M.D.S.= mínima diferença significativa (C)=coluna; Letras minúsculas diferentes nas *colunas* diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); Letras maiúsculas diferentes nas *linhas* diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO (1992), indica um limite máximo de 4,0 mL de solução N% v/p para farinha integral. Assim, até 2 meses de armazenamento as farinhas estão dentro dos valores estipulados pela legislação brasileira. Em 4 meses de armazenamento somente as FITG96 e FITG112 encontraram-se acima do limite e em 6 meses de armazenamento a única farinha dentro do limite da legislação foi a FITG48.

Em geral, a acidez álcool-solúvel aumentou da FITG48 até a FITG96 (Tabela 19), o que está de acordo com o pH que diminuiu com o aumento do tempo de germinação do trigo (Tabela 18). A acidez álcool-solúvel aumentou significativamente em todas as farinhas, com o aumento do tempo de armazenamento do trigo.

A FITG48 apresentou menor acidez álcool-solúvel e maior pH entre as FITG, apresentando também os menores teores de lisina total, IAA, ISA, fibra alimentar, minerais e de açúcares e maior conteúdo de fitato. Tudo isto, parece ter contribuído para o comportamento diferenciado entre as FITG.

4.2.6.3. Hexanal

O método empregado para determinação da oxidação lipídica foi a análise do hexanal por cromatografia gasosa, por ser um método simples, rápido e efetivo. Também, porque para alimentos com baixos teores de lipídios a determinação de peróxidos, ácido tiobarbitúrico e “uptake” de oxigênio, ou são difíceis de aplicar ou não são sensíveis o suficiente (FRITSCH & GALE, 1977).

A variação dos teores de hexanal das amostras está na Tabela 20 e a análise de variância de estabilidade ao armazenamento das FITG nos Anexo 5D e 5E.

Tabela 20. Variação dos teores de hexanal conforme o tempo de armazenamento das FITG

FAR. INTEGRAL DE TRIGO	HEXANAL (ppm ou µg/g)		
	t ₀ (0 meses)	t ₁ (3 meses)	t ₂ (6 meses)
Controle	0,70 ± 0,07 ^a B	2,78 ± 1,28 ^a A,B	5,82 ± 0,63 ^a A
Germinado 32 h	0,00 ± 0,00 ^b *	0,00 ± 0,00 ^b *	0,00 ± 0,00 ^b *
Germinado 48 h	0,00 ± 0,00 ^b *	0,00 ± 0,00 ^b *	0,00 ± 0,00 ^b *
Germinado 72 h	0,00 ± 0,00 ^b *	0,00 ± 0,00 ^b *	0,00 ± 0,00 ^b *
Germinado 96 h	0,00 ± 0,00 ^b *	0,00 ± 0,00 ^b *	0,00 ± 0,00 ^b *
Germinado 112 h	0,59 ± 0,03 ^a B	0,74 ± 0,01 ^{a,b} A	0,70 ± 0,02 ^b A
M.D.S.	0,14 (C)	2,23 (C)	1,10 (C)

Resultados expressos em base seca e representam a média de 2 determinações ± desvio padrão; * = não detectado
M.D.S. = mínima diferença significativa (C) = coluna; Letras minúsculas diferentes nas *colunas* diferem significativamente pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05); Letras maiúsculas diferentes nas *linhas* diferem significativamente pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05)

O teor de hexanal da farinha integral controle aumentou significativamente após 3 e 6 meses de armazenamento (297% e 731% respectivamente). Enquanto nas FITG32, FITG48, FITG72 e FITG96 não foi detectado hexanal, na FITG112 houve um aumento significativo nos primeiros 3 meses (25%), que se manteve no armazenamento por 6 meses.

Quando comparada a farinha controle com a FITG112 observa-se, que no tempo zero, os valores de hexanal foram bastante próximos, porém cresceram exponencialmente na farinha controle com o aumento do tempo de armazenamento e se mantiveram na FITG112.

Em alimentos com baixos teores de lipídios, particularmente aqueles que contém quantidades substanciais de ácido linolênico e que possuem menos de 1 ppm de hexanal quando novos, um aumento de 5 ppm ou mais indicam que houve uma significativa deterioração na qualidade, devido à oxidação lipídica (FRITSCH & GALE, 1977).

Notamos que a farinha integral controle encaixa-se no que foi explicado acima. Além disso, após 6 meses de armazenamento, na farinha integral controle foi perceptível o odor de rancidez, enquanto isso, as FITG continuavam com odor agradável de farinhas de trigo germinado e nada de diferente foi observado.

4.2.7. Correlação entre características químicas, nutricionais, tecnológicas e de estabilidade das FITG

Para uma melhor compreensão e para dar uma visão geral das modificações que ocorreram nas FITG como consequência do processo de germinação, foi realizada a correlação entre as respostas obtidas, que é mostrada na Tabela 21. Os números 1 a 4 correspondem à composição química, 5 a 16 às características nutricionais, 17 a 26 às características tecnológicas e 27 a 37 à estabilidade ao armazenamento.

Dentro da composição química das FITG, verificou-se que a proteína apresentou uma correlação positiva ($r=0,95^*$) com as cinzas. Já os carboidratos mostraram correlações negativas com proteína e cinzas ($r=-0,99^*$ e $-0,94^*$, respectivamente), o que é muito coerente, uma vez que os carboidratos foram calculados por diferença.

Quanto às características nutricionais, destacam-se a energia bruta e a energia metabolizável que apresentaram correlações positivas (com coeficientes superiores a 81%), com proteína, cinzas, açúcares totais, fibra alimentar, vitamina B₆ e lisina total. A energia bruta correlacionou-se ainda com açúcares redutores, vitamina B₂ e lisina disponível. Isto é responsável em parte, pelos maiores valores de energia bruta encontrados nas FITG.

Os açúcares redutores e totais correlacionaram-se entre si ($r=0,95^*$), mostraram correlação positiva com as vitaminas B₂ e B₆, lisina total e disponível ($r\geq 0,86^*$) e negativa com o teor de fitato ($r=-0,93^*$ e $-0,89^*$, respectivamente).

A lisina total apresentou altas correlações ($r\geq 0,83^*$) com proteína, cinzas, açúcares, fibra alimentar e vitaminas B₂ e B₆, e também com a coordenada de cromaticidade “b” (cor amarela, $r=0,89^*$), que é um dos parâmetros de cor. A digestibilidade “in vitro” apresentou correlação somente com o teor de lipídios ($r=0,82^*$).

Os minerais não foram apresentados na tabela, porém foram verificadas altas correlações de fósforo com magnésio, cobre e manganês ($r= 0,95^*$, $0,92^*$, $0,94^*$, respectivamente); potássio x ferro ($r=0,90^*$) e magnésio com cobre e manganês ($r=0,91^*$ e $0,89^*$, respectivamente).

Foram observadas correlações negativas do fitato com cálcio ($r= -0,93^*$), da vitamina B₁ com vitamina B₂ ($r=-0,87^*$), diferença de cor ($r=-0,92^*$) e ISA ($r=-0,84^*$) e, da vitamina B₆ com fitato ($r=-0,92^*$). Notou-se também, correlação positiva da vitamina B₆ com cálcio ($r=0,93^*$).

Tabela 21. Correlação (* $p \leq 0,05$) entre composição química, características nutricionais, tecnológicas e de estabilidade ao armazenamento das FITG

Tabela 21. Correlação (*p≤0,05) entre composição química, características nutricionais e sensoriais																																							
VARIÁVEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
1 Proteína	1,00																																						
2 Cinzas	0,95*	1,00																																					
3 Lipídios	-0,06	-0,18	1,00																																				
4 Carboidratos	-0,99*	-0,94*	-0,04	1,00																																			
5 Energia bruta	0,95*	0,93*	0,03	-0,96*	1,00																																		
6 Energia metabolizável	0,91*	0,89*	0,32	-0,93*	0,92*	1,00																																	
7 Açúcares redutores	0,76	0,62	0,15	-0,77	0,85*	0,76	1,00																																
8 Açúcares totais	0,91*	0,76	0,10	-0,91*	0,92*	0,86*	0,95*	1,00																															
9 Fibra alimentar	0,92*	0,87*	0,07	-0,93*	0,87*	0,88*	0,66	0,81	1,00																														
10 Fitoato	-0,66	-0,45	-0,46	0,69	-0,71	-0,75	-0,93*	-0,80*	-0,63	1,00																													
11 Vitamina B ₁ (tiamina)	-0,68	-0,68	0,46	0,63	-0,78	-0,49	-0,78	-0,74	-0,47	0,50	1,00																												
12 Vitamina B ₂ (riboflavina)	0,78	0,70	-0,08	-0,77	0,89*	0,71	0,93*	0,90*	0,72	-0,79	-0,87*	1,00																											
13 Vitamina B ₆ (piridoxina)	0,80	0,63	0,29	-0,82*	0,81*	0,83*	0,92*	0,95*	0,65	-0,92*	-0,63	0,78	1,00																										
14 Lisina total	0,93*	0,83*	0,22	-0,95*	0,96*	0,96*	0,91*	0,97*	0,87*	-0,67*	-0,66	0,87*	0,92*	1,00																									
15 Lisina disponível	0,69	0,63	0,13	-0,70	0,85*	0,75	0,95*	0,86*	0,59	-0,53*	-0,80	0,94*	0,82*	0,86*	1,00																								
16 Digestibilidade "in vitro"	-0,02	-0,06	0,82*	-0,07	0,15	0,55	0,32	0,17	0,18	-0,50	0,18	0,23	0,23	0,26	0,41	1,00																							
17 Falling Number	-0,75	-0,67	-0,20	0,77	-0,58*	-0,81*	-0,97*	-0,90*	-0,64	0,88*	0,77	-0,92*	-0,88*	-0,91*	-0,90*	-0,41	1,00																						
18 Densidade aparente	-0,57	-0,30	0,05	0,53	0,25	0,43	-0,36	-0,59	-0,69	0,64	0,37	-0,56	-0,60	-0,54	-0,33	0,11	0,29	1,00																					
19 Luminosidade	-0,34	-0,17	0,60	0,25	0,20	0,04	-0,32	-0,40	-0,16	0,19	0,52	-0,35	-0,33	-0,18	-0,11	0,08	0,13	0,73	1,00																				
20 Coordenada cromat. a*	0,14	0,09	-0,64	-0,05	0,04	-0,25	0,04	0,15	-0,03	0,05	-0,31	0,07	0,10	-0,07	-0,17	-0,81*	0,15	-0,60	-0,96*	1,00																			
21 Coordenada cromat. b*	0,87*	0,71	-0,08	-0,85*	0,86*	0,74	0,92*	0,97*	0,72	-0,82*	-0,81	0,88*	0,91*	0,89*	0,80	-0,03	-0,84*	-0,75	-0,60	0,37	1,00																		
22 Diferença de cor	0,79	0,68	-0,29	-0,75	0,81	0,60	0,87*	0,89*	0,58	-0,69	-0,92*	0,87*	0,82*	0,78	0,79	-0,19	-0,80	-0,64	-0,67	0,46	0,96*	1,00																	
23 IAA	-0,41	-0,48	-0,28	0,46	-0,63	-0,62	-0,65	-0,51	-0,27	0,53	0,56	-0,59	-0,58	-0,61	-0,82*	-0,49	0,81	-0,23	-0,32	0,52	-0,41	-0,44	1,00																
24 ISA	0,89*	0,78	-0,09	-0,88*	0,93*	0,78	0,94*	0,97*	0,81	-0,81*	-0,84*	0,97*	0,85*	0,82*	-0,99*	-0,44	1,00*	0,35	0,09	0,18	0,99*	0,92*	-0,49	1,00															
25 Viscosidade máxima	-0,70	-0,62	-0,26	0,73	-0,83*	-0,80*	-0,96*	-0,88*	-0,59	0,88*	0,74	-0,89*	-0,89*	-0,82*	-0,77	-0,03	0,76	0,60	0,40	-0,17	-0,84*	-0,82*	0,38	-0,94*	1,00														
26 Tempo de visc. máxima	-0,86*	-0,83*	0,27	0,83*	0,90*	-0,71	-0,80	-0,83*	-0,83*	0,61	0,82*	-0,93*	-0,64	-0,82*	-0,77	-0,03	0,76	0,60	0,40	-0,17	-0,84*	-0,82*	0,38	-0,94*	1,00														
27 pH - t0	-0,55	-0,36	-0,07	0,54	-0,65	-0,50	-0,93*	-0,83*	-0,49	0,98*	0,72	-0,98*	-0,78	-0,73	-0,85*	-0,29	0,84*	0,70	0,45	-0,19	-0,84*	-0,81*	0,44	-0,86*	0,83*	0,72	1,00												
28 pH - t1	-0,75	-0,56	-0,02	0,74	-0,79	-0,66	-0,96*	-0,94*	-0,67	0,89*	0,77	-0,93*	-0,87*	-0,83*	-0,83*	-0,16	0,87*	0,78	0,53	-0,28	-0,95*	-0,91*	0,42	-0,95*	0,84*	0,83*	0,98*	1,00											
29 pH - t2	-0,34	-0,13	0,05	0,31	-0,45	-0,25	-0,80	-0,67	-0,24	0,73	0,67	-0,76	-0,64	-0,50	-0,70	-0,14	0,68	0,67	0,58	-0,36	-0,73	-0,76	0,30	-0,71	0,68	0,56	0,94*	0,98*	1,00										
30 pH - t3	-0,29	-0,07	0,06	0,26	-0,36	-0,17	-0,73	-0,61	-0,26	0,69	0,58	-0,72	-0,54	-0,44	-0,60	-0,14	0,58	0,74	0,59	-0,39	-0,68	-0,68	0,13	-0,67	0,57	0,56	0,93*	0,98*	1,00										
31 ácidoz álcool-solúvel-t0	0,58	0,50	-0,68	-0,49	0,41	0,18	0,26	0,45	0,47	-0,10	-0,53	0,38	0,27	0,31	0,09	-0,73	-0,11	-0,68	-0,87*	0,83*	0,59	0,64	0,33	0,53	-0,005	-0,60	-0,29	-0,46	-0,24	-0,34	1,00								
32 ácidoz álcool-solúvel-t1	0,79	0,62	-0,29	-0,74	0,62	0,51	0,54	0,73	0,74	0,49	-0,51	0,58	0,59	0,63	0,32	-0,36	-0,38	-0,88*	-0,75	0,64	0,80	0,73	0,17	0,74	-0,33	-0,73	-0,52	-0,70	-0,43	-0,48	0,90*	0,97*	1,00						
33 ácidoz álcool-solúvel-t2	0,73	0,56	-0,34	-0,67	0,54	0,44	0,48	0,68	0,60	-0,42	-0,51	0,48	0,60	0,55	0,26	-0,51	-0,33	-0,83*	0,83*	0,75	0,78	0,74	0,18	0,66	-0,28	-0,60	-0,45	-0,64	-0,41	-0,42	0,90*	0,97*	0,98*	1,00					
34 ácidoz álcool-solúvel-t3	0,68	0,50	0,02	-0,67	0,60	0,55	0,61	0,71	0,83*	-0,64	-0,56	0,67	0,52	0,66	0,43	0,15	-0,47	-0,87*	-0,42	0,25	0,68	0,53	0,09	0,74	-0,42	-0,77	-0,65	-0,74	-0,50	-0,61	0,57	0,82*	0,82*	0,65	1,00				
35 hexanal - t0	-0,10	-0,05	-0,10	0,10	-0,35	-0,19	-0,67	-0,42	0,01	0,56	0,61	-0,65	-0,45	-0,37	-0,78	-0,44	0,71	0,05	0,03	0,19	-0,41	-0,49	0,72	-0,47	0,73	0,35	0,74	0,57	0,76	0,66	0,24	0,15	0,17	-0,04	1,00				
36 hexanal - t1	-0,56	-0,48	-0,18	0,57	-0,75	-0,64	-0,93*	-0,79	-0,44	0,82*	0,77	-0,88*	-0,79	-0,77	-0,98*	-0,45	0,96*	0,29	0,10	0,17	-0,74	-0,74	0,83*	-0,80	-0,97*	0,66	0,86*	0,86*	0,85*	0,72	0,62	-0,06	-0,31	-0,26	-0,41	0,79	0,99*		
37 hexanal - t2	-0,67	-0,59	-0,19	0,69	-0,83*	-0,74	-0,96*	-0,88*	-0,55	0,86*	0,78	-0,91*	-0,83*	-0,86*	-1,00*	-0,43	0,99*	0,35	0,12	0,16	-0,80	-0,78	0,82*	-0,86*	-0,98*	0,72	0,86*	0,85*	0,72	0,62	-0,06	-0,31	-0,26	-0,41	0,79	0,99*			

Nas características tecnológicas, a correlação permitiu perceber nuances que não haviam sido notados, como nas características de viscosidade das FITG em que a viscosidade máxima apresentou correlação com os valores de Falling Number ($r=1,00^*$) e com o IAA ($r=0,83^*$) das FITG, indicando que estes resultados foram proporcionais entre si. Houve correlação negativa da viscosidade máxima e do tempo de viscosidade máxima ($r\geq-0,82^*$) com conteúdo de açúcares totais, vitaminas B₂ e lisina total.

Os valores de Falling Number apresentaram correlação positiva com o conteúdo de fitato ($r=0,88^*$) e negativa ($r\geq-0,84^*$) com os teores de açúcares, vitaminas B₂ e B₆, lisina total, lisina disponível, coordenada de cromaticidade b* e ISA.

Quanto às características de cor, a coordenada de cromaticidade a* (cor vermelha) mostrou resultados inversamente proporcionais à luminosidade ($r=-0,96^*$), o que indica que quanto maior a luminosidade, menor a cor vermelha das FITG; a coordenada de cromaticidade b* (cor amarela) apresentou uma correlação negativa ($r\geq-0,82^*$) com o teor de carboidratos e fitato e positiva ($r\geq0,87^*$) com proteína, açúcares, vitaminas B₂ e B₆ e lisina total.

Pelas correlações entre as respostas de estabilidade ao armazenamento das FITG, verificou-se que o pH (t_0 e t_1) e o teor de hexanal (t_1 e t_2) ambos apresentaram correlações positivas com teor de fitato, valores de Falling Number e viscosidade máxima ($r\geq0,82^*$) e correlações negativas com açúcares, vitamina B₂ e lisina disponível, indicando uma tendência de comportamento.

Os índices indicaram que o pH nos tempos t_2 e t_3 apresentou correlação somente com o pH nos tempos anteriores de armazenamento ($r\geq0,82^*$), enquanto que a acidez álcool-solúvel nos tempos t_1 e t_2 teve o mesmo comportamento ($r\geq0,89^*$), também apresentando correlação negativa nestes tempos e no t_3 ($r\geq-0,83^*$), com a densidade aparente. Em alguns casos foi verificada interrelação entre pH e teor de hexanal (pH – t_0 e t_1 com hexanal – t_1 e t_2), com coeficientes de correlação $\geq0,82^*$. O teor de hexanal no t_0 não correlacionou-se com nenhuma outra resposta.

4.3. EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NO TORQUE E NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS EXTRUSADOS DE FARINHA INTEGRAL DE TRIGO GERMINADO (FITG)

4.3.1. Análise Estatística dos Resultados

As médias dos dados experimentais de torque, expansão radial, volume específico e dureza dos extrusados estão na Tabela 22 e a análise estatística resumida, nos Anexos 6A, 6B, 6C e 6D/6E, respectivamente. A Tabela 23 mostra os modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2) para estas respostas.

Tabela 22. Médias dos dados experimentais de torque, expansão, volume específico e dureza

ENSAIO	VAR. INDEPENDENTES			RESPOSTAS			
	X ₁	X ₂	X ₃	TORQUE (gf.m)	EXPANSÃO RADIAL	VOL. ESPECÍFICO (mL/g)	DUREZA* (kg.f)
1	48	18	120	2100	1,03 ± 0,03	1,23 ± 0,03	13,27 ± 3,91 ^b
2	96	18	120	3000	1,18 ± 0,02	1,22 ± 0,06	16,00 ± 4,52 ^a
3	48	24	120	2650	1,25 ± 0,04	1,91 ± 0,15	7,24 ± 1,93 ^{f,g}
4	96	24	120	1930	1,43 ± 0,06	2,34 ± 0,11	8,02 ± 2,61 ^{e,f,g}
5	48	18	160	2000	1,07 ± 0,07	2,63 ± 0,68	4,16 ± 2,05 ^h
6	96	18	160	2800	1,34 ± 0,05	1,44 ± 0,06	11,95 ± 4,57 ^{b,c}
7	48	24	160	1800	1,48 ± 0,07	1,64 ± 0,11	8,96 ± 3,37 ^{d,e,f}
8	96	24	160	1500	1,44 ± 0,10	1,66 ± 0,20	10,31 ± 3,37 ^{c,d}
9	32	21	140	1700	1,12 ± 0,10	1,86 ± 0,27	7,42 ± 3,47 ^{f,g}
10	112	21	140	1600	1,25 ± 0,12	1,50 ± 0,16	11,50 ± 4,95 ^{b,c}
11	72	16	140	2700	0,85 ± 0,02	2,63 ± 0,31	3,09 ± 1,36 ^h
12	72	26	140	1400	1,49 ± 0,07	1,74 ± 0,17	10,46 ± 3,36 ^{c,d}
13	72	21	106	3050	1,10 ± 0,02	1,27 ± 0,05	12,45 ± 4,11 ^b
14	72	21	174	2200	1,43 ± 0,05	1,82 ± 0,23	6,30 ± 3,68 ^g
15	72	21	140	1880	1,13 ± 0,07	1,71 ± 0,15	7,66 ± 2,88 ^{e,f,g}
16	72	21	140	1900	1,10 ± 0,06	1,78 ± 0,19	8,85 ± 4,44 ^{d,e,f}
17	72	21	140	1900	1,12 ± 0,09	1,88 ± 0,44	7,40 ± 3,91 ^{f,g}
18	72	21	140	1940	1,05 ± 0,07	1,70 ± 0,20	8,79 ± 3,62 ^{d,e,f}
19	72	21	140	1950	1,15 ± 0,08	1,49 ± 0,26	9,33 ± 5,25 ^{d,e}

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C);

* Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05)

Tabela 23. Modelo de regressão e coeficiente de determinação (R^2) para torque, expansão radial e volume específico dos extrusados

RESPOSTA	MODELO*	R ²
Torque ^A	$y_i = 1908,77 + 37,47x_1 - 307,99x_2 - 220,36x_3 + 273,35x_3^2 - 340,00x_1x_2 - 122,50x_2x_3$	91,96%
Expansão radial ^A	$y_i = 1,1687 + 0,0570x_1 + 0,1506x_2 + 0,0729x_3 + 0,0590x_3^2$	82,11%
Volume específico ^B	$y_i = 1,7139 - 0,0992x_1 - 0,0342x_2 + 0,1168x_3 - 0,0220x_1^2 + 0,1565x_2^2 - 0,0697x_3^2 + 0,2063x_1x_2 - 0,1988x_1x_3 - 0,3213x_2x_3$	76,61%

y_i= função resposta genérica; X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C);
 * = p ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo Teste F); ^A modelo ajustado; ^B modelo completo (negrito=p ≤ 0,05); *italico*=mantido no modelo porque o termo de interação x₁x₂ foi significativo ao nível de 5% de probabilidade

Como pode ser visto na **Tabela 23** para a variável *torque*, os efeitos lineares da umidade e temperatura, quadrático da temperatura e de interação entre tempo de germinação e umidade, umidade e temperatura, foram os mais importantes. O coeficiente de determinação (R^2) que indica a porcentagem dos resultados que são explicáveis pelo modelo, caiu de 95,86% no modelo completo (**Anexo 6A**) para 91,96% no modelo ajustado e o coeficiente de variação (C.V.) mudou de 6,79% para 8,19%, respectivamente.

Contudo, houve falta de ajuste significativa, o que causa dúvida no modelo. A ANOVA modificada para o torque (**Anexo 6A**) confirmou que os efeitos lineares, quadráticos e de interação são significativos a um nível de significância de 5%. Porém, esta análise somente é válida quando o erro experimental atinge valores muito pequenos, o que não aconteceu. Apesar disto optamos por ajustar o modelo, mas recomendamos que seja usado somente como indicador de tendência, nunca para fins preditivos. Não foi feito novo reajuste para o efeito x_2x_3 ($p=6,25\%$), porque este foi significativo inicialmente ao nível de $p\leq 0,05$.

Para a *expansão radial*, a ANOVA do modelo de regressão preditivo mostrou que os efeitos lineares das três variáveis independentes e quadrático da temperatura foram os mais importantes. Apresentou um R^2 de 89,93% no modelo completo (**Anexo 6B**) que caiu para 82,11% no modelo ajustado (**Tabela 23**) e C.V. que mudou de 6,65% para 7,11%.

A falta de ajuste mesmo sendo significativa, foi considerada aparente porque o quadrado médio do erro experimental (0,0015), foi muito baixo (WASZCZYNSKYJ et al., 1981). Porém, para facilitar a discussão, devido a falta de ajuste significativa, a análise de variância para expansão foi recalculada usando o quadrado médio da falta de ajuste para obtenção dos valores de F e confirmou a significância dos efeitos lineares (**Anexo 6B**).

Para o *volume específico*, foi empregado o modelo completo (**Tabela 23**), porque 76,61% das respostas explicáveis por este foram radicalmente reduzidas para 34,41% no modelo ajustado (**Anexo 6C**). O efeito de interação entre umidade e temperatura foi o mais importante ($p\leq 0,0098$). O C.V. de 15,83% e a falta de ajuste não significativa (5,37%) do resíduo ($p>0,05$), indicaram um bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

A *dureza* não apresentou um modelo adequado pela análise de variância, pois embora o efeito de interação entre umidade e temperatura tenha sido significativo ao nível de 5% de probabilidade no modelo completo (**Anexo 6D**), obteve-se um alto C.V. (27,28%) e falta de ajuste significativa (1,03%). A ANOVA modificada realizada não confirmou nenhum efeito significativo, indicando que o modelo não se ajustou aos dados experimentais, por isso não foi realizada nenhuma tentativa de ajuste e nem elaborados gráficos de superfície. Talvez fosse necessário um modelo mais complexo para explicar esta resposta.

Assim, para que fosse possível se chegar a alguma conclusão sobre os resultados de dureza, foi realizado o Teste de Tukey ($p \leq 0,05$) a fim de comparar os resultados obtidos. Por esta análise, verificamos que as repetições no ponto central não sofreram grandes alterações, indicando a precisão dos resultados.

4.3.2. Torque

O torque é uma medida do trabalho mecânico necessário para forçar o material a deslocar-se através do parafuso e sair pela matriz. É desejável trabalhar com baixo torque, já que a força requerida para fazer fluir a farinha através do parafuso é menor, portanto, a energia requerida para o processamento será menor.

Na **Figura 13** pode-se observar o efeito da temperatura de extrusão e da umidade das farinhas integrais de trigo germinado no torque, através de gráficos construídos com o modelo ajustado (**Tabela 23**), sendo o tempo de germinação do trigo fixado em 72h.

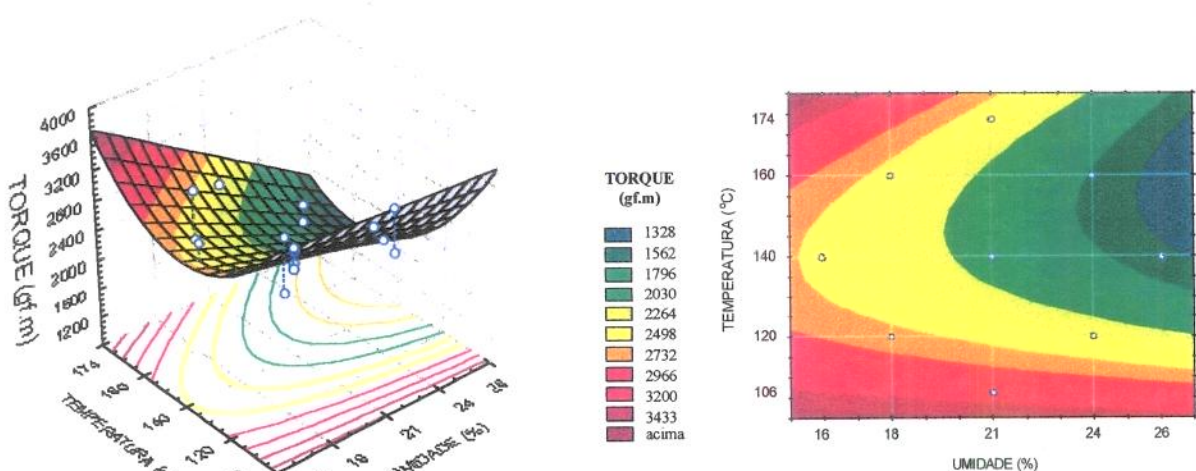


Figura 13. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade das FITG no torque
Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais.
Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h).

De acordo com a **Figura 13**, o menor trabalho mecânico foi obtido com umidade de 25-26% e temperatura de extrusão na faixa de 140-174°C, enquanto os maiores valores de torque correspondem à temperatura inferior a 110°C junto com umidade de 16-21% e temperatura superior a 170°C combinada com umidade inferior a 17%.

O menor torque, encontrado na região de maior umidade e temperatura de intermediária a alta, foi devido estas condições terem diminuído a viscosidade, facilitando o fluxo dentro do extrusor, exigindo menor energia para impulsionar o material até a saída pela

matriz. Enquanto o maior torque em baixa umidade, é possivelmente, consequência da degradação ou “fusão” do amido em menor grau, dificultando o fluxo dentro do extrusor e exigindo maior energia para impulsionar o material na saída da matriz.

O tempo de germinação do trigo não apresentou efeito significativo, isoladamente, sobre o torque. Farinhas com tempos de germinação de 96-112 horas e 24-26% de umidade, mostraram baixo valor de torque (inferior a 1445 gf.m), porém farinhas com o mesmo tempo de germinação e umidade menor que 18% produziram torque elevado (superior a 3600 gf.m). Tempos de germinação mais longos, devido a hidrólise do amido em açúcares, que possuem efeito diminuidor da viscosidade dentro do extrusor aliado à alta umidade, produziram farinhas fluídas e menos viscosas, porém, em baixa umidade, isto não aconteceu e o fluxo ficou prejudicado, fazendo com que fosse consumida mais energia para a extrusão.

4.3.3. Expansão Radial

Na **Figura 14** são apresentados os extrusados produzidos sob as diferentes condições de processamento. É possível comparar visualmente algumas características, como expansão radial, cor e aspecto geral.

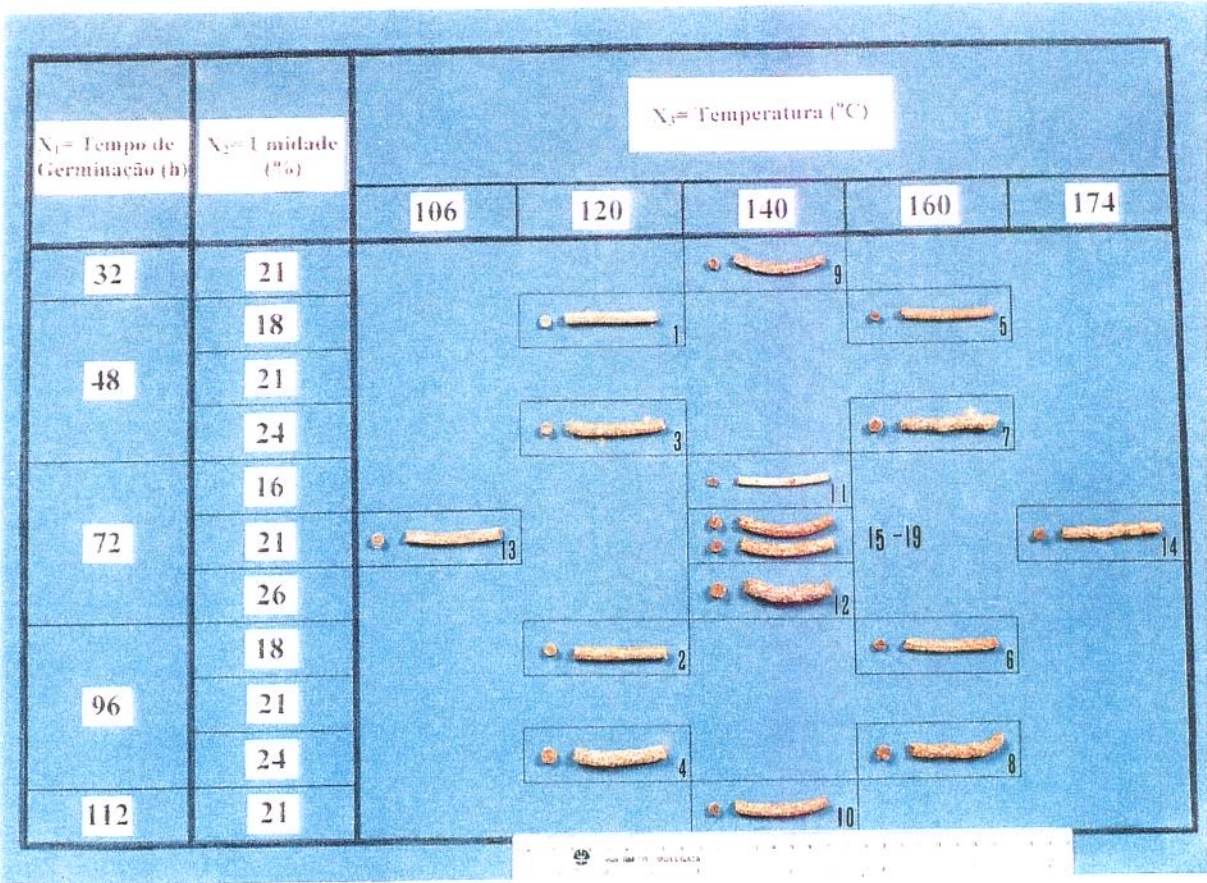


Figura 14. Características dos extrusados em diferentes condições experimentais
Os números dos ensaios encontram-se próximos aos extrusados de FIETG.
Os dois extrusados no centro representam o ponto central (ensaios de 15-19)

A expansão de um produto extrusado depende, principalmente, do grau de gelatinização do amido e da subsequente evaporação da água originada da brusca descompressão, imediatamente após a saída do material pela matriz (LINKO et al., 1981; CHANG, 1989). Também a fibra interfere na expansão, reduzindo a extensibilidade das células da parede, causando a ruptura prematura de células de vapor (GUY, 1985 citado por MOORE et al., 1990).

Os extrusados, em geral, apresentaram baixa expansão radial, possivelmente por serem produzidos com farinhas integrais, que possuem fibras na sua composição. Além disso, componentes remanescentes da farinha, como lipídios e proteína (glúten), podem competir com o amido pela água disponível ou interferir na capacidade do amido para expandir, na saída pela matriz do extrusor (FAUBION, 1980 citado por RYU & WALKER, 1995).

RYU & WALKER (1995) extrusaram farinhas brancas de trigo vermelho duro (130°C, na segunda zona e 160°C, na terceira zona / 18 e 25% de umidade), encontrando 1,87 e 2,19 de expansão radial, respectivamente. Comparando com os resultados do presente trabalho empregando farinha integral (**Tabela 22**), a expansão radial foi mais baixa (encontrada na faixa de 0,85 a 1,49, com valor médio de 1,21).

A partir do modelo ajustado para a expansão (**Tabela 23**) foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais, que mostram a variação da resposta em função do tempo de germinação do trigo e da temperatura de extrusão, estando a umidade da farinha fixada em 21%, conforme observado na **Figura 15**.

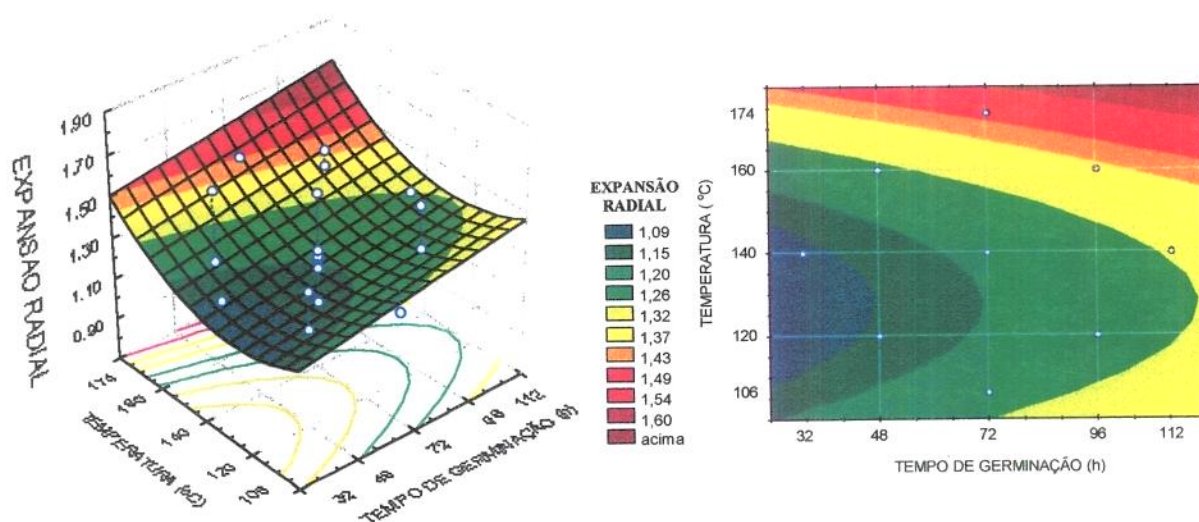


Figura 15. Efeito da temperatura de extrusão e do tempo de germinação na expansão dos extrusados. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (umidade da farinha= 21%).

Os extrusados mais expandidos foram encontrados na região de alta umidade (24-26%), alta temperatura (160-174°C) e tempos de germinação maiores (de 72 a 112h). A menor expansão foi em temperatura de baixa a intermediária (106-150°C), baixo teores de umidade (16-20%) e curto período de germinação (32-48h).

RYU & WALKER (1995) também verificaram um aumento significativo da expansão de extrusados de farinha de trigo, com o aumento da umidade de 18 para 25%, efeito oposto ao observado por outros autores (MERCIER & FEILLET, 1975; GROSSMANN et al., 1989; ABDEL-ALL et al., 1992; SUTHEERAWATTANANONDA et al., 1994).

A maior expansão com tempos de germinação mais longos pode ser consequência dos açúcares formados na germinação, e seu efeito diminuidor da viscosidade dentro do extrusor, fazendo com que o material se expanda mais, na saída da matriz.

4.3.4. Volume Específico

Os gráficos de superfície elaborados a partir do modelo completo de volume específico (Tabela 23), mostram a variação da resposta em função da umidade e da temperatura de extrusão, com o tempo de germinação fixado em 72 h, conforme Figura 16.

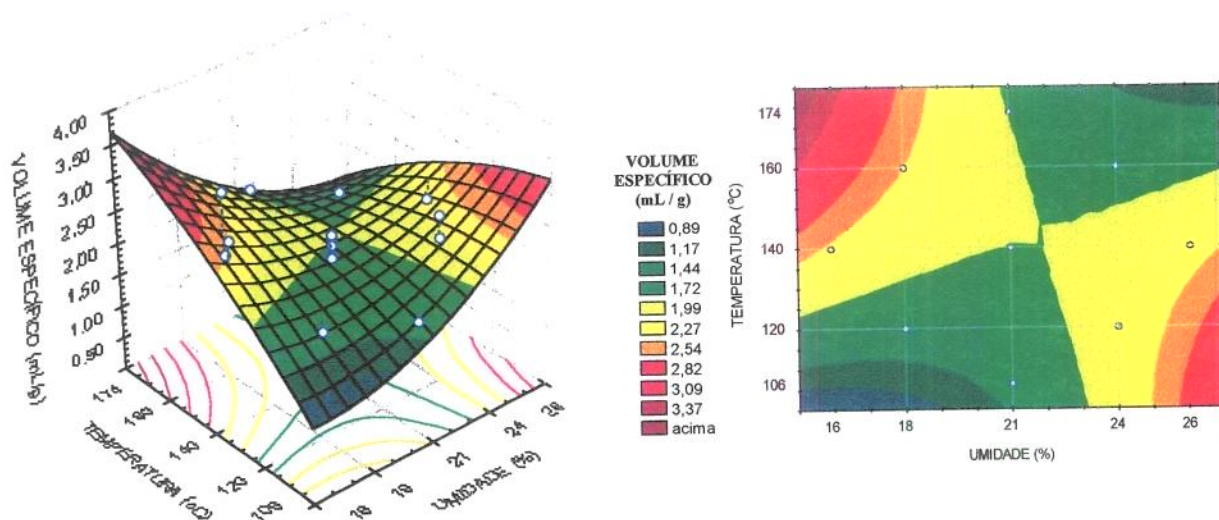


Figura 16. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no volume específico dos extrusados. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h).

O volume específico dá uma idéia da porosidade do produto e é razoável considerar que um maior valor desta propriedade corresponderá a um maior grau de cocção (GONZÁLES et al., 1987).

Em geral, os extrusados produzidos com 18% de umidade e 120°C apresentaram um menor volume específico (maior densidade), enquanto os com maior volume específico (menor densidade) foram processados em diferentes condições experimentais: ensaio 5 (48h de germinação, 18% de umidade e 160°C) e ensaio 11 (72h de germinação, 16% de umidade e 140°C), mas que no entanto mostraram respostas semelhantes (**Tabela 22**).

Os extrusados processados em temperaturas mais altas, quase sempre apresentaram um maior volume específico. Isto porque, segundo VILELA & EL-DASH (1987) o aumento da temperatura de extrusão diminui a viscosidade do fluido, provocando maior deslocamento de material durante a expansão, maior porosidade e, conseqüentemente, menor densidade (maior volume específico).

Em temperaturas elevadas, embora tenha ocorrido uma diminuição da expansão radial, o volume específico aumentou. Isto pode ser devido ao aumento da expansão axial, o que já foi verificado por ALVAREZ-MARTINEZ et al. (1988), na extrusão de sêmola de milho em temperatura de 150-170°C e umidade de 14-22%.

4.3.5. Dureza

A dureza é um termo de textura que pode ser definida como a força necessária para se obter uma dada deformação (SZCZESNIAK, 1983 citada por GIESE, 1995). A propriedade de textura dos extrusados de FITG foi determinada medindo-se a força necessária para partir o extrusado em dois pedaços (força de quebra).

De acordo com a **Tabela 22**, a dureza dos extrusados variou de 3,09 a 16,00 kg.f, sendo o valor médio 9,11 kg.f. Pelos resultados da comparação de médias pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$), pode-se constatar que a maior dureza foi encontrada nos extrusados do ensaio 2, seguido pelos extrusados dos ensaios 1 e 13, produzidos em temperaturas baixas, e umidades de baixa a intermediária. Enquanto os menores valores de dureza foram verificados nos ensaios 11 e 5, que possuem em comum baixos teores de umidade, de 16 e 18%, respectivamente. O tempo de germinação, ao que parece, não afetou significativamente as respostas, embora isto fosse esperado, devido aos aumentos nos teores de fibra alimentar e diminuição do teor de amido, além das alterações em outros constituintes das farinhas.

Em geral, os extrusados produzidos no intervalo de temperatura de 140 a 160 °C apresentaram menor dureza do que os produzidos a menores temperaturas. Isto está de acordo com o encontrado por RYU & WALKER (1995) em extrusados de farinha de trigo, justificando a mudança da plasticidade da farinha de trigo, nesta faixa de temperatura.

Os resultados de dureza podem estar relacionados com o volume específico (V.E.), uma vez que foram inversamente proporcionais. Os extrusados com menores valores de V.E. (ou maior densidade), experimentos 2, 1 e 13, foram os que apresentaram maior dureza e vice-versa, os com maior V.E., experimentos 5 e 11, mostraram menor dureza.

4.4. EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E NA QUALIDADE NUTRICIONAL DAS FARINHAS INTEGRAIS EXTRUSADAS DE TRIGO GERMINADO (FIETG)

4.4.1. Análise Estatística dos Resultados

As médias dos dados experimentais de composição centesimal e de açúcares são mostradas na Tabela 24, enquanto que a análise estatística resumida é mostrada nos Anexos 7A a 7F. A Tabela 25 apresenta modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 24. Médias dos dados experimentais de composição centesimal e açúcares das FIETG

ENSAIO	VARIÁVEIS INDEPENDENTES			RESPOSTAS (%)					
	X ₁	X ₂	X ₃	Cinzas*	Proteína	Lipídios Totais	Carboidratos	Açúcares Redutores	Açúcares Totais
1	48	18	120	1,62 ± 0,01 ^a	11,15 ± 0,03	2,24 ± 0,08	84,99 ± 0,12	3,53 ± 0,09	5,80 ± 0,21
2	96	18	120	1,66 ± 0,00 ^a	11,42 ± 0,06	2,11 ± 0,06	84,81 ± 0,12	4,86 ± 0,07	7,46 ± 0,18
3	48	24	120	1,57 ± 0,06 ^a	11,30 ± 0,06	2,10 ± 0,07	85,03 ± 0,19	3,67 ± 0,12	5,61 ± 0,20
4	96	24	120	1,61 ± 0,01 ^a	11,22 ± 0,05	1,80 ± 0,01	85,37 ± 0,07	6,10 ± 0,12	8,44 ± 0,13
5	48	18	160	1,70 ± 0,04 ^a	11,89 ± 0,01	2,38 ± 0,02	84,03 ± 0,07	3,02 ± 0,11	5,79 ± 0,08
6	96	18	160	1,76 ± 0,11 ^a	11,95 ± 0,02	2,29 ± 0,04	84,00 ± 0,17	4,31 ± 0,09	7,16 ± 0,14
7	48	24	160	1,58 ± 0,03 ^a	11,46 ± 0,05	2,07 ± 0,06	84,89 ± 0,14	3,61 ± 0,05	5,92 ± 0,15
8	96	24	160	1,56 ± 0,02 ^a	11,77 ± 0,02	1,95 ± 0,16	84,72 ± 0,19	5,27 ± 0,12	9,02 ± 0,11
9	32	21	140	1,54 ± 0,06 ^a	11,49 ± 0,06	2,14 ± 0,10	84,83 ± 0,22	4,66 ± 0,03	7,17 ± 0,27
10	112	21	140	1,51 ± 0,01 ^a	11,55 ± 0,13	1,90 ± 0,11	85,04 ± 0,25	5,76 ± 0,11	8,54 ± 0,27
11	72	16	140	1,08 ± 0,08 ^b	11,48 ± 0,06	2,68 ± 0,08	84,76 ± 0,22	4,31 ± 0,16	7,13 ± 0,20
12	72	26	140	1,65 ± 0,02 ^a	11,33 ± 0,06	2,42 ± 0,13	84,60 ± 0,21	4,20 ± 0,11	8,03 ± 0,88
13	72	21	106	1,61 ± 0,06 ^a	11,30 ± 0,05	2,55 ± 0,18	84,54 ± 0,29	4,79 ± 0,04	7,84 ± 0,23
14	72	21	174	1,66 ± 0,07 ^a	11,53 ± 0,12	2,93 ± 0,12	83,88 ± 0,31	4,41 ± 0,07	6,28 ± 0,26
15	72	21	140	1,64 ± 0,01 ^a	11,25 ± 0,04	2,62 ± 0,08	84,49 ± 0,13	3,93 ± 0,09	5,61 ± 0,33
16	72	21	140	1,66 ± 0,01 ^a	11,28 ± 0,06	2,56 ± 0,03	84,50 ± 0,10	4,32 ± 0,39	5,81 ± 0,11
17	72	21	140	1,67 ± 0,00 ^a	11,24 ± 0,06	2,93 ± 0,08	84,16 ± 0,14	4,53 ± 0,10	6,71 ± 0,14
18	72	21	140	1,64 ± 0,01 ^a	11,24 ± 0,09	2,88 ± 0,08	84,24 ± 0,18	4,62 ± 0,13	6,42 ± 0,16
19	72	21	140	1,65 ± 0,01 ^a	11,57 ± 0,06	3,11 ± 0,12	83,67 ± 0,19	5,45 ± 0,05	7,09 ± 0,23

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C); Carboidratos: calculados por diferença [100-(cinzas + proteína + lipídios)]; %= g/100g; Resultados expressos em base seca e representam a média de 3 determinações ± desvio padrão; * Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05)

Tabela 25. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para proteína, lipídios e de açúcares das FIETG

RESPOSTA	MODELO AJUSTADO*	R^2
Proteína	$y_i = 11,4432 + 0,1733x_3$	43,69%
Lipídios	$y_i = 2,7464 - 0,0764x_1 - 0,1126x_2 - 0,3324x_1^2 - 0,1451x_2^2$	72,75%
Carboidratos	$y_i = 84,3756 + 0,0229x_1 - 0,2687x_3 + 0,2499x_1^2$	50,48%
Açúcares redutores	$y_i = 4,4921 + 0,6267x_1$	48,61%
Açúcares totais	$y_i = 6,9384 + 0,8247x_1$	44,66%

y_i = função resposta genérica; X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C)
 *= $p \leq 0,05$ (nível de probabilidade pelo Teste F); *itálico*= mantidos no modelo porque os termos quadráticos foram significativos ($p \leq 0,05$)

A ANOVA, para *cinzas*, não foi significativa ao nível de 5%, mostrando que não foi possível obter um modelo para os dados experimentais obtidos para esta resposta. Assim, foi realizado o teste de Tukey, para comparação de médias, como pode ser visto no **Anexo 7A**.

A partir da análise dos dados das outras respostas constantes na **Tabela 24** foram elaborados modelos de regressão completos (**Anexos 7B-7F**), que explicaram o comportamento das respostas dentro do intervalo de variação estudado. Estes modelos, apresentaram altos coeficientes de determinação (R^2) para proteína (72,25%), lipídios (80,80%), carboidratos (74,55%), açúcares redutores (70,29%) e açúcares totais (72,86%).

Pode-se notar que os coeficientes de variação das respostas de composição centesimal e de açúcares das FIETG foram baixos (menores que 14%) e todas as respostas apresentaram falta de ajuste não significativa, ou seja, resíduo pequeno, indicando que os modelos mostram um bom ajuste aos dados experimentais (**Anexos 7B-7F**).

De acordo com a ANOVA para estas respostas, mostrada nos respectivos anexos, foram eliminados os termos não significativos e procedida uma nova análise através da PROC GLM do programa SAS, somente com termos significativos ($p \leq 0,05$), obtendo-se assim, os modelos ajustados (**Tabela 25**). Observou-se que os R^2 destes modelos diminuíram em relação aos dos modelos completos, porém mesmo assim foram utilizados para analisar a tendência das respostas na região analisada, por estarem simplificados e bastante coerentes com os efeitos esperados para estas respostas.

Para *proteína*, a temperatura foi a única variável independente significativa, explicando sozinha 43,69% da resposta, para *lipídios* o R^2 foi 72,75% e os principais efeitos foram quadráticos do tempo de germinação e da umidade, para carboidratos o R^2 foi 50,48% e os efeitos linear da temperatura e quadrático do tempo de germinação, foram os mais importantes, enquanto para *açúcares redutores* e *totais*, o tempo de germinação do trigo foi responsável por 48,61 e 44,66%, respectivamente, destas respostas.

As médias dos dados experimentais de minerais são mostradas na Tabela 26 e a análise estatística resumida está apresentada nos Anexos 7G a 7H. A Tabela 27 apresenta os modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 26. Resultados experimentais de minerais (macro e microelementos) de FIETG

ENSAIO	VARIÁVEIS INDEPENDENTES			RESPOSTAS								
	X_1	X_2	X_3	MACROELEMENTOS ^A (mg/100g)				MICROELEMENTOS ^A (mg/100g)				
				Cálcio	Fósforo	Potássio	Magnésio	Ferro	Cobre	Manganês	Zinco	Bário
1	48	18	120	40	400	320	150	3,9	0,47	5,2	2,8	<0,5
2	96	18	120	50	430	330	160	4,5	0,52	5,4	3,2	<0,5
3	48	24	120	50	410	330	160	3,9	0,49	5,4	3,0	<0,5
4	96	24	120	40	390	310	160	4,0	0,48	5,3	3,1	<0,4
5	48	18	160	50	420	340	170	4,8	0,51	5,6	3,5	<0,5
6	96	18	160	50	430	340	170	4,2	0,55	5,5	3,4	<0,5
7	48	24	160	40	420	320	170	3,9	0,51	5,3	2,8	<0,6
8	96	24	160	50	440	320	170	4,4	0,51	5,5	3,6	<0,8
9	32	21	140	50	440	350	160	5,3	0,52	5,5	3,6	<0,5
10	112	21	140	40	410	330	150	4,5	0,48	5,0	3,3	<0,5
11	72	16	140	50	420	320	160	4,8	0,51	5,3	3,1	<0,5
12	72	26	140	40	420	320	160	4,6	0,51	5,6	2,9	<0,5
13	72	21	106	40	420	320	160	4,2	0,50	5,3	3,2	<0,6
14	72	21	174	40	430	320	170	4,3	0,52	5,3	3,2	<0,6
15	72	21	140	50	440	350	170	4,4	0,53	5,1	3,1	<0,5
16	72	21	140	40	420	320	160	4,6	0,50	5,2	2,9	<0,5
17	72	21	140	50	420	320	160	4,2	0,50	5,2	3,1	<0,8
18	72	21	140	50	420	340	160	4,2	0,52	5,1	3,4	<0,5
19	72	21	140	50	420	330	160	4,2	0,52	5,1	3,4	<0,5

X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C);

^A Resultados expressos em base seca

Tabela 27. Modelo de regressão e coeficiente de determinação (R^2) para minerais das FIETG

RESPOSTA	MODELO*	R^2
Magnésio ^A	$y_i = 162,1053 + 4,8923x_3$	45,67%
Cobre ^B	$y_i = 0,5141 + 0,0009x_1 - 0,0044x_2 + 0,0112x_3 - 0,0052x_1^2 - 0,0017x_2^2 - 0,0017x_3^2 - 0,0125x_1x_2 - 7,35807E-19x_1x_3 - 0,0025x_2x_3$	56,70%

y_i = função resposta genérica; X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C)
^{*}= $p \leq 0,05$ (nível de probabilidade pelo Teste F); ^A modelo ajustado; ^B modelo completo (negrito= $p \leq 0,05$)

Dos minerais analisados, somente o *magnésio* e o *cobre* apresentaram diferenças significativas na região estudada e de acordo com ANOVA (Anexos 7G e 7H) os modelos completos para estas respostas, apresentaram R^2 de 66,44% e 56,70%, respectivamente, não apresentaram falta de ajuste e os coeficientes de variação foram baixos (menores que 4%).

Após o ajuste dos modelos, verificou-se que o efeito linear da temperatura explicou sozinho, 45,67% da resposta para o magnésio (Tabela 27), e somente 26,52% para o cobre (Anexo 7H). Desta forma, foi impossível aproveitar o modelo ajustado para o cobre, sendo empregado o modelo completo para analisar a tendência desta resposta na região analisada.

As médias dos dados experimentais da composição em aminoácidos e escore químico das FIETG são mostradas na Tabela 28, enquanto que a análise estatística resumida é mostrada nos Anexos 7I a 7R. A Tabela 29 apresenta os modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 28. Médias dos dados obtidos para composição em aminoácidos e escore químico das FIETG

VARIÁVEIS INDEPENDENTES				RESPOSTA: AMINOÁCIDOS ^A (g/100g proteína*)																			EQ ^B
EXP	X ₁	X ₂	X ₃	Asp	Thr	Ser	Glu	Pro	Gly	Ala	[Cys] ₂	Val	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys	Amônia	Arg		
1	48	18	120	6,78	3,29	4,61	28,14	11,11	4,37	4,08	3,60	4,66	2,22	3,59	7,05	1,90	5,04	2,23	2,88	2,58	4,44	50	
2	96	18	120	8,06	3,27	4,42	25,70	11,16	4,28	4,10	3,83	4,81	2,25	3,65	6,96	1,96	4,96	2,27	3,16	2,39	5,15	54	
3	48	24	120	6,66	3,32	4,66	28,10	11,01	4,31	4,10	3,81	4,78	2,30	3,66	7,02	1,77	4,72	2,18	3,13	2,80	4,47	54	
4	96	24	120	8,05	3,40	4,56	26,49	11,15	4,33	4,37	3,78	4,90	2,67	3,63	6,97	1,08	4,76	2,17	3,03	2,73	4,67	52	
5	48	18	160	6,00	3,38	4,74	30,44	10,44	4,57	4,38	3,35	5,07	2,40	3,78	7,28	1,67	4,70	2,90	1,42	2,79	3,47	24	
6	96	18	160	7,53	3,32	4,57	27,22	10,51	4,43	4,43	3,83	5,20	2,38	3,85	7,12	1,73	4,75	2,20	2,24	2,74	4,68	39	
7	48	24	160	6,49	3,17	4,56	27,95	10,85	4,36	4,22	3,97	4,74	2,51	3,57	6,83	1,63	4,46	2,56	2,71	2,77	5,43	47	
8	96	24	160	7,57	3,36	4,64	27,08	10,92	4,36	4,46	3,97	5,00	2,47	3,81	7,07	1,81	4,70	2,23	2,42	2,55	4,13	42	
9	32	21	140	6,94	3,32	4,72	28,02	11,24	4,35	4,28	4,03	4,83	2,43	3,68	6,88	1,61	4,54	2,24	2,76	2,68	4,12	48	
10	112	21	140	7,86	3,27	4,42	25,55	10,82	4,24	4,31	3,65	4,86	2,28	3,69	6,76	1,79	4,61	2,87	2,94	3,25	6,09	51	
11	72	16	140	7,02	3,50	4,76	29,08	10,75	4,55	4,51	3,74	5,06	2,04	3,83	7,16	0,76	4,76	2,39	2,03	3,84	4,07	35	
12	72	26	140	7,07	3,14	4,41	26,93	11,07	4,22	4,21	4,07	4,66	2,23	3,58	6,81	1,69	4,64	2,23	2,84	2,49	6,17	49	
13	72	21	106	7,25	3,26	4,56	27,30	11,14	4,34	4,36	3,90	4,84	2,28	3,71	6,90	1,66	4,65	2,31	3,26	2,79	4,29	56	
14	72	21	174	7,15	3,32	4,55	28,00	10,92	4,42	4,40	3,72	4,92	2,24	3,72	6,93	1,64	4,61	2,29	2,52	2,93	4,67	43	
15	72	21	140	7,22	3,24	4,51	27,88	11,15	4,36	4,38	3,67	4,89	2,21	3,74	7,02	1,75	4,76	2,36	2,66	2,79	4,20	46	
16	72	21	140	7,79	3,41	4,41	27,89	10,85	4,40	4,28	3,79	4,81	2,04	3,68	6,95	1,82	4,67	2,29	2,69	3,06	4,25	46	
17	72	21	140	7,15	3,23	4,51	27,21	11,04	4,33	4,31	3,77	5,17	2,29	4,14	7,16	1,84	4,90	2,19	2,67	2,85	4,08	46	
18	72	21	140	7,41	3,37	4,54	27,56	11,32	4,32	4,34	3,64	4,87	2,23	3,77	6,97	1,64	4,70	2,31	2,84	2,49	4,18	49	
19	72	21	140	7,32	3,32	4,54	27,77	11,31	4,32	4,38	3,73	4,93	2,31	3,72	6,97	1,65	4,68	2,27	2,76	2,66	4,01	48	

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C);

*proteína= N x 5,7; Triptofano não foi determinado; [Cys]₂= cistina;

^A Resultados da composição em aminoácidos expressos em base seca e representam a média de 3 determinações;

^B Escore químico (EQ)= (g Aa/ 100g prot.)/Padrão FAO x 100 = EQ do aminoácido limitante, neste caso, a lisina.

Tabela 29. Modelo de regressão e coeficiente de determinação (R^2) para composição em aminoácidos e escore químico das FIETG

RESPOSTA	MODELO*	R ²
Ácido aspártico ^A	$y_i = 7,2274 + 0,4999x_1$	67,28%
Serina ^B	$y_i = 4,5012 - 0,0648x_1 - 0,0372x_2 + 0,0178x_3 + 0,0285x_1^2 + 0,0338x_2^2 + 0,0232x_3^2 + 0,0425x_1x_2 + 0,025x_1x_3 - 0,0375x_2x_3$	66,61%
Ácido glutâmico ^A	$y_i = 27,5953 - 0,9002x_1 - 0,4024x_2 + 0,3981x_3 + 0,3975x_1x_2 - 0,4225x_2x_3$	83,96%
Prolina ^B	$y_i = 11,1374 - 0,0276x_1 + 0,0914x_2 - 0,1523x_3 - 0,0554x_1^2 - 0,0978x_2^2 - 0,0554x_3^2 + 0,0113x_1x_2 - 0,0063x_1x_3 + 0,1163x_2x_3$	67,68%
Glicina ^A	$y_i = 4,3611 - 0,0619x_2 + 0,0413x_3$	54,49%
Cistina ^B	$y_i = 3,7236 + 0,003x_1 + 0,108x_2 - 0,0148x_3 + 0,0228x_1^2 + 0,0458x_2^2 + 0,0122x_3^2 - 0,0925x_1x_2 + 0,035x_1x_3 + 0,075x_2x_3$	62,01%
Leucina ^B	$y_i = 7,0087 - 0,0192x_1 - 0,0812x_2 + 0,0257x_3 - 0,0393x_1^2 + 0,0190x_2^2 - 0,0057x_3^2 + 0,0550x_1x_2 + 0,0275x_1x_3 - 0,0600x_2x_3$	62,42%
Lisina ^A	$y_i = 2,7766 + 0,0742x_1 + 0,2162x_2 - 0,3408x_3 - 0,1314x_2^2 - 0,1863x_1x_2 + 0,1688x_2x_3$	90,73%
Escore químico ^A	$y_i = 47,8958 + 1,2480x_1 + 3,7741x_2 - 5,8475x_3 - 2,2712x_2^2 - 3,25x_1x_2 + 3x_2x_3$	90,38%

y_i= função resposta genérica; X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)
 * = p ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo Teste F); ^A modelo ajustado; ^B modelo completo (negrito= p ≤ 0,05); *italico*= mantido no modelo porque o termo de interação foi significativo (p ≤ 0,05)

A ANOVA para os aminoácidos: *treonina, alanina, valina, metionina, isoleucina, tirosina, fenilalanina, histidina, arginina* e amônia não foi significativa ao nível de 5%, mostrando que os dados experimentais não se ajustaram ao modelo. O teste de Tukey não foi realizado (para comparação de médias) porque a análise foi realizada em triplicatas, mas o cálculo para 100% de recuperação dos aminoácidos foi feito com a média dos resultados.

A partir da análise dos dados experimentais da análise de aminoácidos e escore químico (EQ) constantes na **Tabela 28**, foram elaborados modelos de regressão completos (**Anexos 7L-7R**), que apresentaram coeficientes de determinação (R^2) de 81,16% para o ácido aspártico, 66,61% para a serina, 91,37% para o ácido glutâmico, 67,68% para prolina, 83,98% para glicina, 62,01% para cistina, 62,42% para leucina, 91,87% para lisina e 91,79% para o escore químico. Os C.V.(%) foram menores que 7% e os modelos, com exceção da cistina e da lisina, não apresentaram falta de ajuste significativa. A ANOVA modificada para cistina não foi significativa e, para lisina confirmou a significância dos efeitos lineares e total da regressão. Porém, devido ao QM do erro experimental ser pequeno, a falta de ajuste foi considerada aparente (WASZCZYNSKYJ et al., 1981) e o modelo foi ajustado.

Para serina, prolina, cistina e leucina foram usados modelos completos (**Tabela 29**), uma vez que o R^2 dos modelos ajustados foram demasiadamente baixos para que pudessem ser aproveitados (27,68, 29,65, 31,06 e 29,13%, respectivamente). Para serina, o efeito linear do tempo de germinação foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, para prolina, o efeito linear da temperatura, e para cistina e leucina, o efeito linear da umidade.

Os modelos de regressão ajustados para as demais respostas apresentaram R^2 aceitáveis e C.V.(%) que mantiveram-se baixos (**Anexos 7I-7Q**). Para o ácido aspártico somente o efeito linear do tempo de germinação foi importante, explicando sozinho 67,28 das respostas. O ácido glutâmico foi influenciado pelos efeitos lineares das 3 variáveis e de interação da umidade com tempo de germinação e temperatura de extrusão, sendo que o modelo apresentou R^2 de 83,96%. A glicina foi influenciada pelo efeito linear da umidade e da temperatura de extrusão, apresentando R^2 de 54,49%.

Os efeitos lineares da umidade e da temperatura, quadrático da umidade e de interação da umidade com o tempo de germinação e a temperatura foram os mais importantes para o teor de lisina e o escore químico das FIETG, que apresentaram R^2 de 90,73 e 90,38%, respectivamente. A semelhança entre estas 2 respostas se deve ao fato de que a lisina foi o primeiro aminoácido limitante das FIETG e o escore químico é calculado com base neste.

Avaliando-se os modelos de aminoácidos observou-se que, em geral, as principais influências, foram da umidade e da temperatura, em efeitos lineares e de interação.

As médias dos dados experimentais dos índices de avaliação "in vitro" são mostradas na Tabela 30 e a análise estatística resumida está nos Anexos 7S a 7Z. A Tabela 31 apresenta os modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2) para os índices de avaliação "in vitro" das FIETG.

Tabela 30. Média dos dados experimentais obtidos para os índices de avaliação "in vitro": lisina disponível, digestibilidade "in vitro" e digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos (PDCAAS*) calculada através da digestibilidade verdadeira¹ e digestibilidade "in vitro"² de FIETG

ENSAIO	VARIÁVEIS INDEPENDENTES			RESPOSTAS					
	X ₁	X ₂	X ₃	Perda de Lys em relação as FITG (%) ▲	Lisina disponível (g Lys/100g prot.)	Disponibilidade de lisina (%)	Digestibilidade "in vitro" (%)	PDCAAS ¹ (%)**	PDCAAS ² (%)***
1	48	18	120	11,11	1,13 ± 0,06	39	92,22 ± 2,00	43	46
2	96	18	120	3,66	1,38 ± 0,06	44	86,12 ± 2,91	47	47
3	48	24	120	3,40	1,51 ± 0,01	48	87,06 ± 0,05	47	47
4	96	24	120	7,62	1,63 ± 0,07	54	90,57 ± 0,00	45	47
5	48	18	160	56,17	0,90 ± 0,02	63	91,63 ± 3,96	21	22
6	96	18	160	31,71	1,89 ± 0,09	84	90,83 ± 0,04	34	35
7	48	24	160	16,36	1,44 ± 0,05	53	100,46 ± 8,06	41	47
8	96	24	160	26,22	1,93 ± 0,02	80	95,36 ± 1,96	36	40
9	32	21	140	16,36	1,66 ± 0,06	60	92,07 ± 1,95	41	44
10	112	21	140	16,71	1,67 ± 0,01	57	97,35 ± 1,92	44	49
11	72	16	140	38,48	0,97 ± 0,02	48	96,93 ± 0,06	30	34
12	72	26	140	13,94	1,70 ± 0,02	60	88,32 ± 2,56	43	43
13	72	21	106	1,21	1,96 ± 0,05	60	86,39 ± 0,00	49	49
14	72	21	174	23,64	2,23 ± 0,01	88	96,29 ± 1,00	38	42
15	72	21	140	19,39	1,60 ± 0,00	60	91,96 ± 7,16	40	42
16	72	21	140	18,48	1,67 ± 0,07	62	86,75 ± 2,09	40	40
17	72	21	140	19,09	1,62 ± 0,05	61	91,52 ± 4,05	40	42
18	72	21	140	13,94	1,67 ± 0,04	59	94,47 ± 2,10	43	46
19	72	21	140	16,36	2,29 ± 0,09	83	90,40 ± 8,03	41	43

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C); ▲ Relação entre os valores de Lys total nas FITG32, 48, 72, 96 e 112 e nas FIETG32, 48, 72, 96 e 112; *PDCAAS= (EQ x digestibilidade)/100;

** PDCAAS¹ = digestibilidade verdadeira do grão de trigo= 87% (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 1993);

*** PDCAAS² = calculado pela digestibilidade "in vitro"; Resultados em base seca e representam a média ± desvio padrão (lisina disponível: 3 determinações e digestibilidade "in vitro": 2 determinações)

Tabela 31. Modelo de regressão e coeficiente de determinação (R^2) para os índices de avaliação "in vitro" das FIETG

RESPOSTA	MODELO*	R ²
Lisina disponível ^A	$y_1 = 1,7662 + 0,1785x_2 - 0,1982x_3^2$	41,29%
Disponibilidade de lisina ^A	$y_1 = 61,2105 + 10,4037x_3$	44,06%
Digestibilidade "in vitro" ^B	$y_1 = 91,0672 + 0,0286x_1 - 0,1341x_2 + 2,8526x_3 + 1,0435x_1^2 + 0,3066x_2^2 - 0,1476x_3^2 + 0,6638x_1x_2 - 0,4138x_1x_3 + 1,7588x_2x_3$	52,89%
PDCAAS ^{1 A}	$y_1 = 41,6634 + 1,1016x_1 + 3,3581x_2 - 4,8923x_3 - 2,0212x_2^2 - 3x_1x_2 + 2,5x_2x_3$	88,77%
PDCAAS ^{2 A}	$y_1 = 42,3684 + 3,378x_2 - 4,0103x_3 + 3,625x_2x_3$	63,71%

y_i= função resposta genérica; X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)
 * = p ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo Teste F); ^A modelo ajustado; ^B modelo completo (negrito= p ≤ 0,05); *itálico*= mantido no modelo porque o termo de interação foi significativo (p ≤ 0,05)

Para a *lisina disponível* encontrada nas FIETG, o R^2 do modelo matemático preditivo mostra que 70,96% das respostas explicáveis pelo modelo completo (Anexo 7S) foi reduzido para 41,29% no modelo ajustado (tendência da resposta) e o C.V. mudou de 17,16% para 18,29%, respectivamente. A falta de ajuste não significativa do resíduo (58,59%), indicou um bom ajuste do modelo aos dados experimentais. Os efeitos linear e quadrático da temperatura de extrusão foram os mais importantes para esta resposta, como pode ser visto na Tabela 31.

A análise de variância para a *disponibilidade de lisina*, em relação ao teor de lisina total na amostra, mostrou que o modelo completo apresentou: R^2 de 63,96, C.V.(%) de 19,51% e não apresentou falta de ajuste (Anexo 7T). Após o ajuste do modelo, o R^2 foi reduzido para 44,06% e o C.V. 17,17%, sendo empregado como indicador de tendência da resposta, que foi afetada principalmente pelo efeito linear da temperatura (Tabela 31).

Para a *digestibilidade “in vitro”* o modelo matemático preditivo explicou 52,89% das respostas do modelo completo (Tabela 31) e foi reduzido para 37,28% no modelo ajustado. Assim, foi empregado o modelo completo para analisar a tendência da resposta na região estudada. O pequeno C.V. de 4,3% e a falta de ajuste não significativa (17,43%) do resíduo ($p>0,05$), indicaram bom ajuste do modelo aos dados experimentais. O efeito linear da temperatura foi o efeito mais importante (Anexo 7U).

Para a digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos calculada através da digestibilidade verdadeira ($PDCAAS^d$) das FIETG, é possível notar pela análise de variância (Anexo 7V) que, embora o R^2 do modelo completo seja 90,41% e o C.V. 7,09%, a falta de ajuste foi significativa. Assim, foi realizada a ANOVA modificada, que confirmou somente os efeitos lineares e total da regressão (WASZCZYNSKYJ et al., 1981). Após o ajuste do modelo o R^2 (88,77%) continuou alto e o C.V. (6,65%), baixo (Tabela 31). Os efeitos lineares da umidade e da temperatura, quadrático da temperatura e de interação da umidade com o tempo de germinação, foram os que mais influenciaram o $PDCAAS^d$.

O modelo de regressão completo para a digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos calculada através da digestibilidade “in vitro” ($PDCAAS^2$) explicou 83,90% das respostas, com C.V. de 8,67% e sem falta de ajuste (Anexo 7X). Foi realizado então, o ajuste do modelo, que apresentou R^2 de 63,71% e C.V. de 10,08%. Esta resposta foi influenciada pelos efeitos lineares e de interação da umidade e temperatura de extrusão (Tabela 31).

Verificou-se que as variáveis que mais tiveram influência nos índices de avaliação “in vitro” em geral, foram umidade da farinha e temperatura de extrusão.

4.4.2. Composição Centesimal

A composição centesimal das FIETG encontra-se na **Tabela 24** e foi determinada nas farinhas com características granulométricas especificadas no **Anexo 8**.

Em relação ao conteúdo de cinzas, a comparação de médias indicou que o experimento 11 foi o único que diferiu significativamente dos demais. As FIETG deste experimento apresentaram o menor teor de cinzas (1,08) e foram produzidas com o menor teor de umidade da farinha (16%) e níveis centrais das outras duas variáveis independentes (FITG72 e temperatura de extrusão de 140°C).

A partir do modelo ajustado para o teor de proteína (**Tabela 25**) foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais, que mostram a variação da resposta em função da umidade da farinha e da temperatura de extrusão, estando o tempo de germinação fixado em 72 h, conforme observado na **Figura 17**.

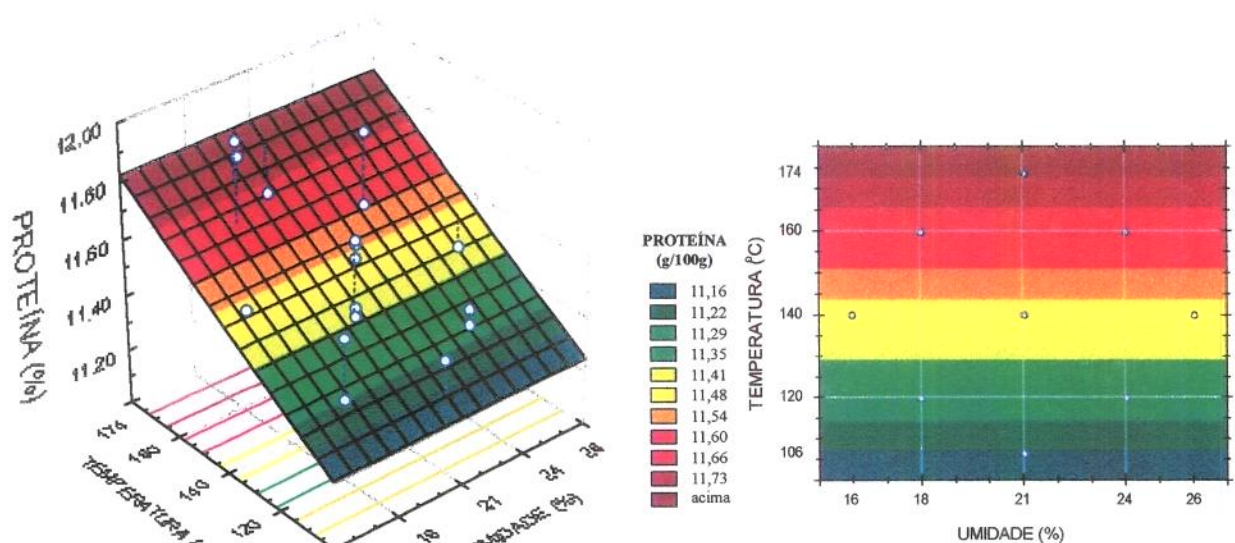


Figura 17. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no conteúdo de proteína das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h).

O tempo de germinação e a umidade da farinha não afetaram o teor de proteína, que diminuiu com o decréscimo da temperatura de extrusão. O motivo para este comportamento é desconhecido.

Quando submetidas à forças de cisalhamento, a maior parte das proteínas sofrem modificações estruturais (perda de sua estrutura terciária e quaternária) e/ou agregação, produzindo uma redistribuição das ligações responsáveis pela sua estrutura (pontes de hidrogênio, ligações iônicas, interações hidrofóbicas e pontes dissulfeto). Isto conduz a

insolubilização das proteínas e a sua inativação quando apresentam atividade biológica (enzimas, fatores antinutricionais) (CHEFTEL, 1986; CAMARGO, 1988). Contudo, isto não provoca variações no teor de nitrogênio.

Os gráficos de superfície, mostrados na **Figura 18**, foram elaborados a partir do modelo ajustado do teor de lipídios (**Tabela 25**) e mostram a variação da resposta em função da umidade da farinha e do tempo de germinação do trigo, com a temperatura fixada em 140°C. Foi encontrada uma região de máximo para esta resposta.

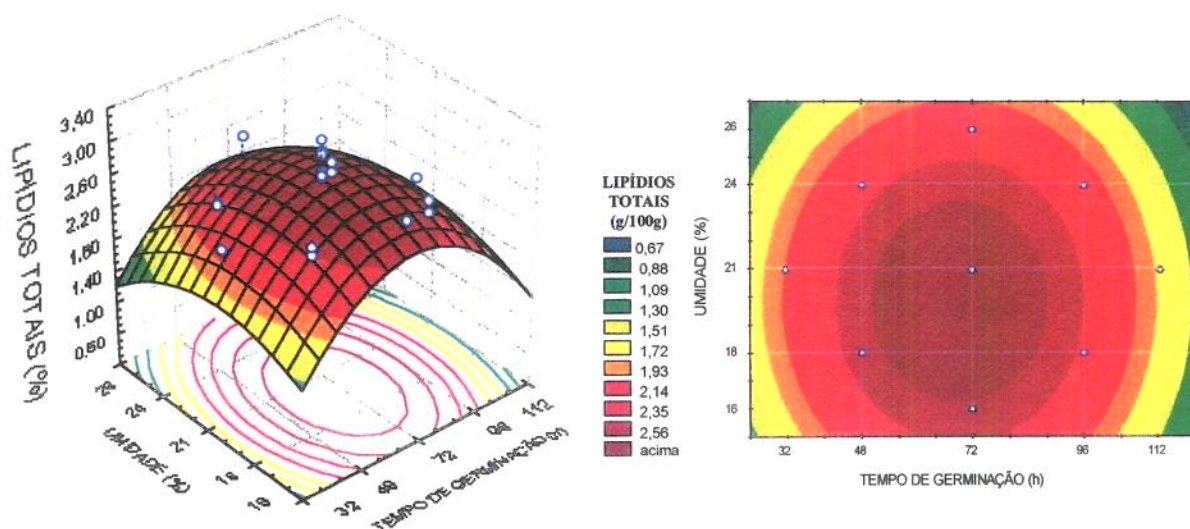


Figura 18. Efeito da umidade e do tempo de germinação do trigo no conteúdo de lipídios das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_3 fixada em 0 (temperatura de extrusão= 140°C).

As FIETG com maiores teores de lipídios foram as processadas na região central do delineamento, com valores intermediários de tempo de germinação e umidade da farinha.

Os menores valores verificados nas FIETG por tempos menores (32 e 48h) e maiores (acima de 96h) combinada com altas umidades (>25%), pode ser atribuída a vários fatores: extratibilidade dos lipídios ter sido diminuída (CHEFTEL, 1986), formação de radicais que se complexaram com outros componentes da farinha (BRUECHERT et al., 1988), componentes voláteis (MOLTEBERG et al., 1995) e/ou cisalhamento durante o processo de extrusão (FABRIANI et al., 1968 citado por CHAMP, 1994).

O teor médio de carboidratos das FIETG, em base seca, foi 84,56%. Segundo HUBER (1991), os carboidratos estão entre os principais constituintes dos alimentos, geralmente presentes em níveis superiores a 70%. Nos produtos extrusados, são responsáveis pela funcionalidade e também influenciam características de textura e visuais, como

expansão, densidade, sensação na boca, gelificação, claridade e “flavor”. Entre os carboidratos encontramos as fibras, o amido e os açúcares.

Na **Figura 19** pode-se observar o efeito do tempo de germinação do trigo e da temperatura das farinhas integrais de trigo germinado no conteúdo de carboidratos, através de gráficos construídos com o modelo ajustado (**Tabela 25**), estando a umidade da farinha fixada no ponto central (21% de umidade).

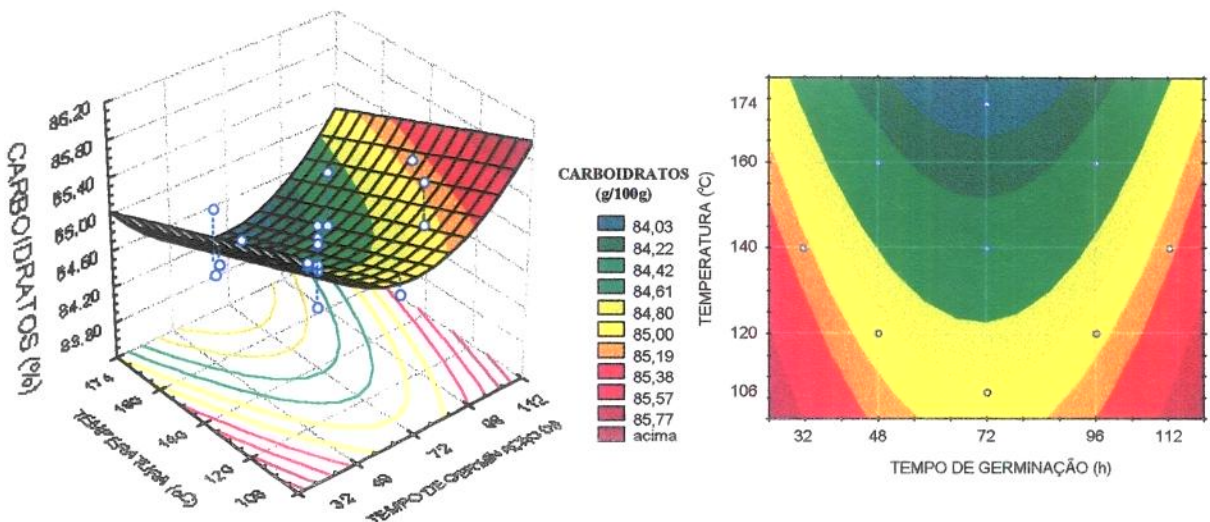


Figura 19. Efeito da temperatura de extrusão e do tempo de germinação no teor de carboidratos das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados calculados. Variável x_2 fixada em 0 (umidade da farinha= 21%).

Os maiores teores de carboidratos, foram encontrados com temperatura menor do que 155°C e tempos de germinação baixos (<48h) e altos (>96h). Os menores valores, em temperaturas altas (na faixa de 160 a 174°C), na região de tempos de germinação de 48 a 96 horas. Contudo, a temperatura foi o único fator que afetou significativamente esta resposta.

O processo de germinação aumentou significativamente o teor de açúcares das FITG, pela degradação do amido. Então, a redução do teor de carboidratos no processo de extrusão, pode ser consequência da perda de açúcares redutores pela reação destes com grupos amino livres das proteínas (Reação de Maillard).

4.4.3. Açúcares Redutores e Totais

A partir do modelo ajustado para o teor de açúcares das FIETG (Tabela 25) foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais, com o teor de umidade fixado no ponto central (21%), como pode ser observado nas Figuras 20 e 21.

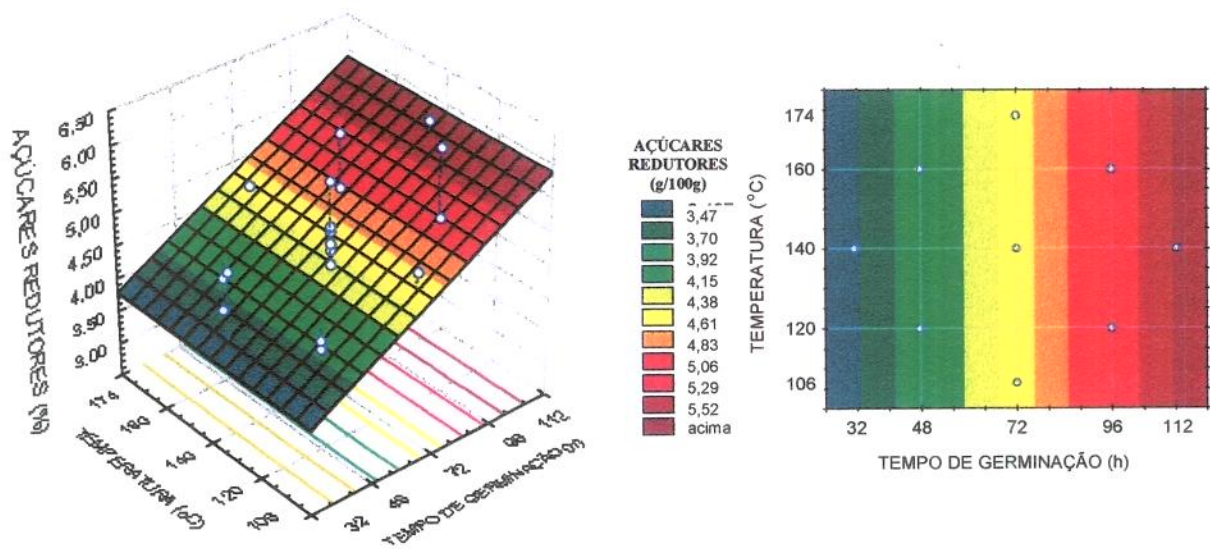


Figura 20. Efeito da temperatura de extrusão e do tempo de germinação no teor de açúcares redutores das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (umidade da farinha= 21%).

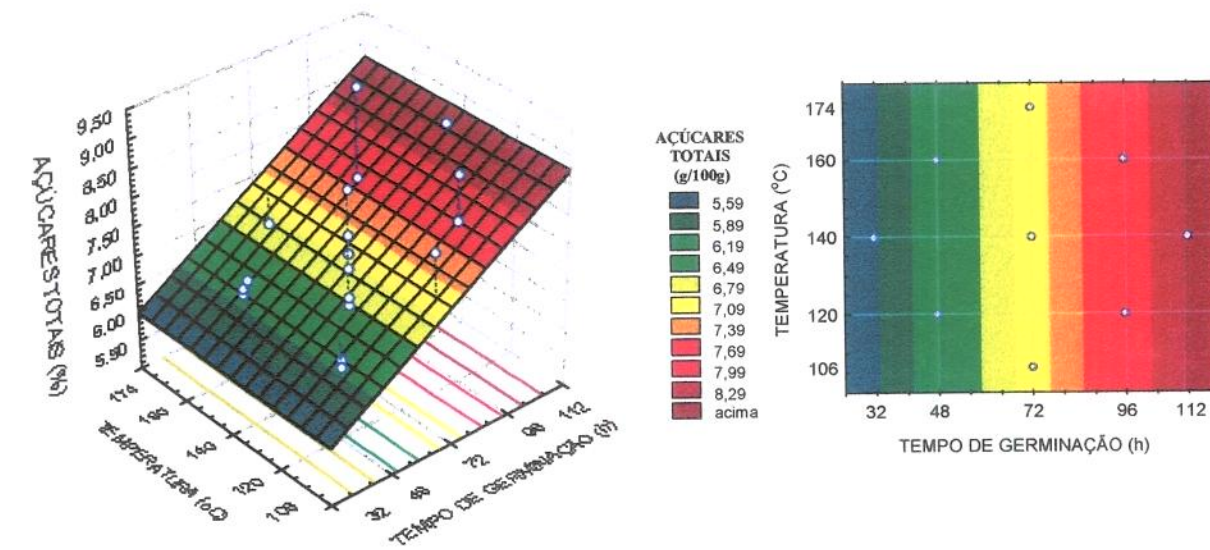


Figura 21. Efeito da temperatura de extrusão e do tempo de germinação no teor de açúcares totais das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (umidade da farinha= 21%).

Observa-se que os gráficos de superfície de açúcares redutores e totais exibiram o mesmo comportamento, ou seja, o teor de açúcares aumentou linearmente com aumento do

tempo de germinação do trigo. Este comportamento linear já era esperado, uma vez que já tinha sido observado no conteúdo de açúcares das FITG (item 4.2.4.2.). Ocorreu, provavelmente, pela quebra de carboidratos, principalmente amido durante a germinação do trigo, e em menor grau pela reações de degradação que devem ter ocorrido durante o processo de extrusão das FITG.

As FIETG apresentaram valores médios de 4,49% de açúcares redutores e 6,94% de açúcares totais, ou seja, valores superiores daqueles verificados nas FITG (Tabela 10), indicando que a extrusão teve sua contribuição nestes resultados. Foi verificado teores de açúcares iguais em FITG processadas em condições experimentais diferentes.

4.4.4. Minerais

O teor de minerais das FIETG é mostrado na Tabela 26. Foram determinados os conteúdos de macromelementos (cálcio, fósforo, potássio e magnésio) e microelementos (ferro, cobre, manganês, zinco e bário), porém destes, somente os resultados experimentais de magnésio e cobre ajustaram-se ao modelo empírico empregado neste trabalho.

A partir do modelo ajustado para o teor de magnésio e modelo completo para o cobre presentes nas FIETG (Tabela 27), foram traçados gráficos de superfície que mostram a variação destas respostas em função do conteúdo de umidade e da temperatura de extrusão, com o tempo de germinação fixado no ponto central (72h), conforme Figuras 22 e 23.

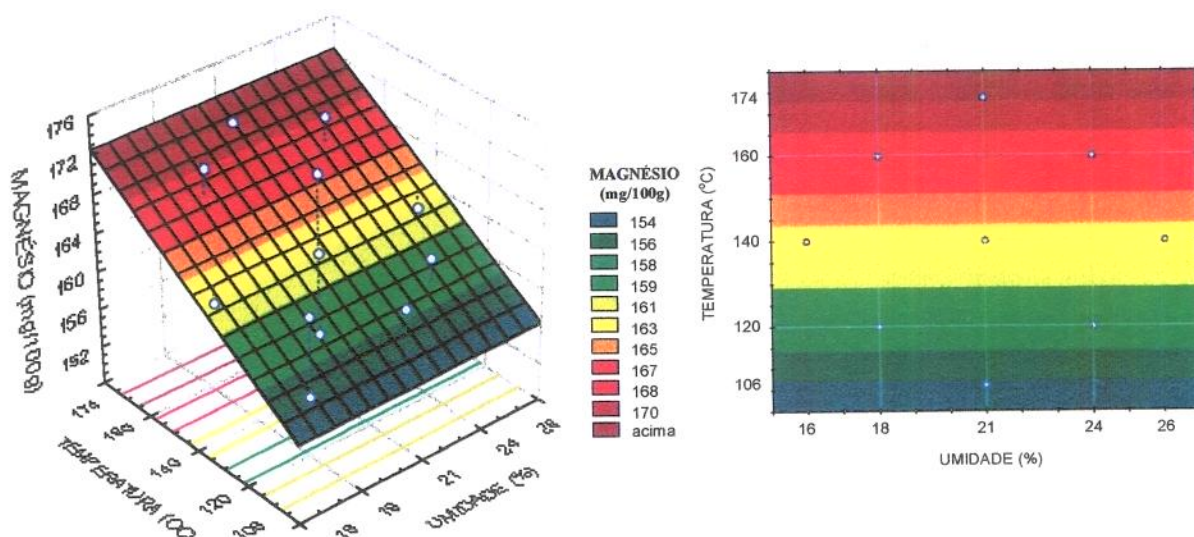


Figura 22. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade da farinha no teor de magnésio das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72 h).

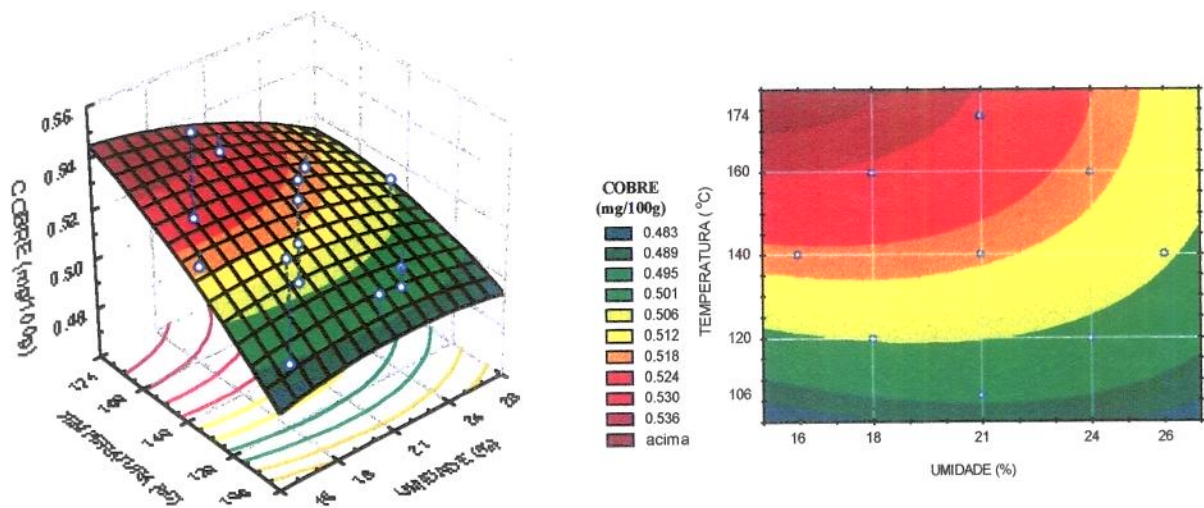


Figura 23. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade da farinha no teor de cobre das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72 h).

Pelos gráficos de superfície de resposta elaborados para o conteúdo de magnésio, notou-se que o teor deste mineral diminuiu linearmente com o decréscimo da temperatura de extrusão. Para o cobre, observou-se maiores teores em umidade inferior a 21% e temperatura de extrusão superior a 160°C. Até 18% de umidade a resposta foi praticamente linear, ou seja, diminuiu com o aumento da temperatura. Os menores valores foram encontrados em baixa temperatura, independente da umidade.

Não se sabe a explicação para a alteração no teor destes minerais, seriam necessários estudos mais detalhados, porém, podem estar relacionados a análise, por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), onde podem ocorrer interferências espectrais pela formação de sais, resultando valores alterados de minerais.

4.4.5. Composição em Aminoácidos e Escore Químico

A composição em aminoácidos das proteínas das farinhas de trigo é afetada principalmente pela taxa de extração, qualidade do trigo e sistema de moagem. Neste trabalho, tivemos que levar em consideração ainda o efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis do processo de extrusão.

Diferentemente da presente pesquisa, a maioria dos estudos do valor nutricional de proteínas de produtos extrusados, tem sido realizados com misturas de farinhas de cereais e/ou leguminosas, apesar de realizadas em extrusores de rosca única (DEL VALLE, 1981; JANSEN et al., 1981; ALMEIDA-DOMINGUEZ et al., 1993).

Pela análise estatística, a maior parte dos aminoácidos e a amônia não apresentaram resultados adequados para serem avaliados pela M.S.R. (Thr, Ala, Val, Met, Ile, Tyr, Phe, His, His, Asg). Observa-se pelas médias experimentais (**Tabela 28**) que os teores encontrados de cada aminoácido, nos 19 experimentos não sofreram grandes alterações, apresentando resultados muito próximos entre si, o que vale também para as médias do ponto central (experimentos 15-19), indicando que as variáveis estudadas não tiveram influência nestas respostas.

A partir do modelo ajustado ou completo (conforme o caso), do conteúdo dos demais aminoácidos estudados, presentes nas FIETG e do escore químico (**Tabela 29**), foram traçados gráficos de superfície que mostram a variação destas respostas em função das variáveis independentes, com uma delas fixada no ponto central, conforme **Figuras 24 e 25**.

Para o ácido aspártico (Asp) observa-se que os experimentos processados com FITG48 e FITG32 foram os que apresentaram menor retenção (**Tabela 28**) e, ao contrário, os com FITG96 tiveram os maiores teores, já os com FITG72 mantiveram-se com valores intermediários. A serina (Ser), com média de 4,56 g/100g (faixa de 4,41 a 4,76) foi encontrada em maior quantidade em FITG por tempos curtos (<48h) e em menor com tempos de germinação mais longos (>96h).

Pelos gráficos de superfície para estes 2 aminoácidos (**Figura 24**) observa-se que os valores para o Asp aumentaram proporcionalmente ao tempo de germinação do trigo, enquanto que para a Ser, o comportamento foi inverso, diminuindo seu teor com o aumento do tempo de germinação do trigo.

O ácido glutâmico (Glu) apresentou resultados semelhantes em experimentos processados em diferentes condições experimentais (**Tabela 28**), indicando o efeito combinado das 3 variáveis nesta resposta. Pelos gráficos de superfície (**Figura 24**), pode-se observar uma interação entre a umidade e a temperatura de extrusão, sendo que os maiores teores de Glu foram encontrados em temperaturas acima de 140°C e umidades inferiores a 18%.

A prolina foi encontrada nas FIETG com teores médios de 10,99, variando de 10,44 a 11,32g/100g de proteína (**Tabela 28**). Os menores valores foram verificados em temperaturas superiores a 160°C e baixa umidade (<17%), e em maior quantidade em região de temperatura inferior a 140°C e umidade menor que 24%, como pode ser observado pelos gráficos (**Figura 24**).

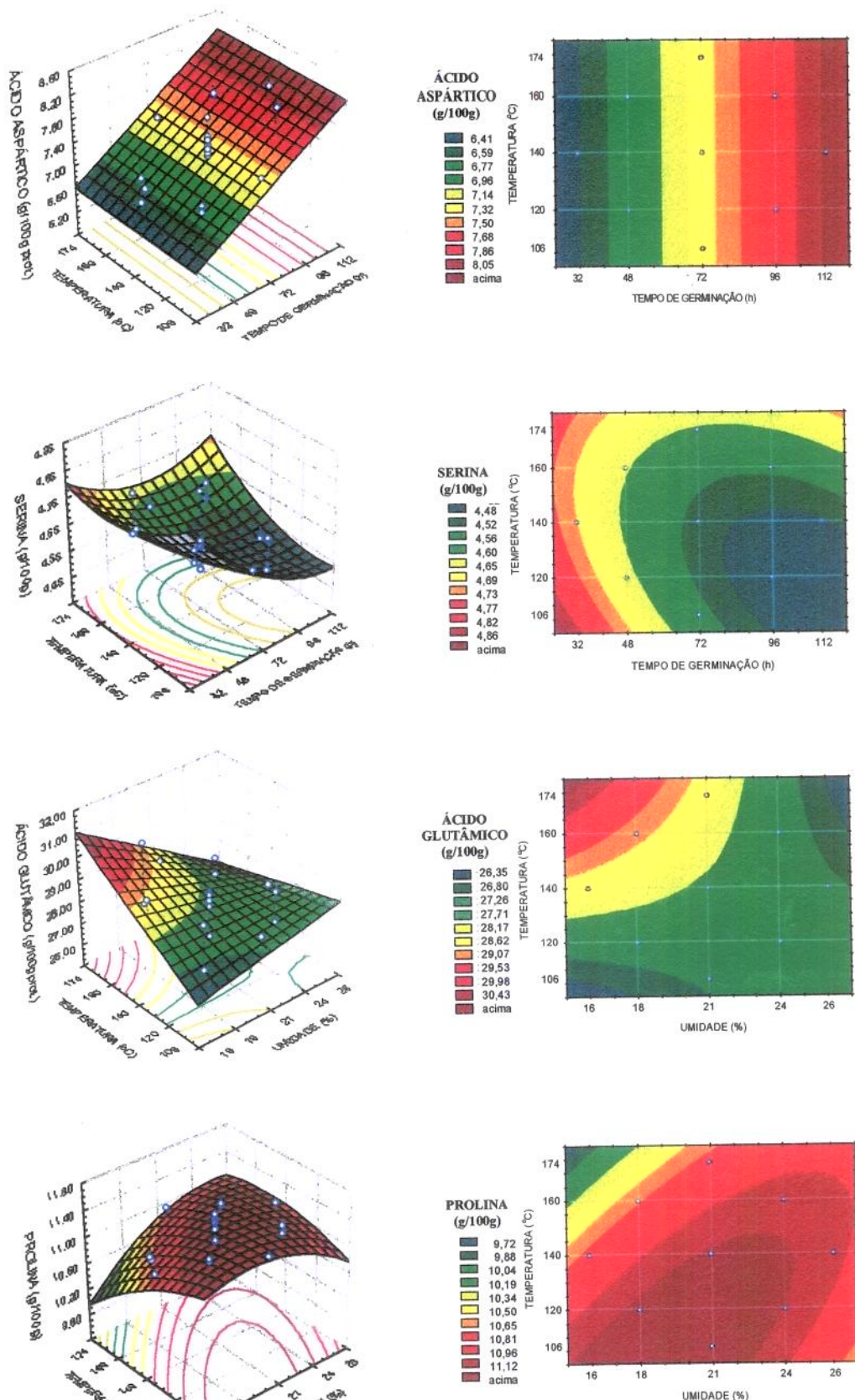


Figura 24. Efeito das variáveis independentes no teor de aminoácidos das FIETG

Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais.

Ácido aspártico= variável x_2 fixada em 0 (umidade da farinha= 21%);

Serina= variável x_2 fixada em 0 (umidade da farinha= 21%);

Ácido glutâmico= variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72 h);

Prolina= variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72 h).

Observa-se nitidamente nos gráficos de superfície (**Figura 25**) para a glicina (Gly) que a umidade da FITG e a temperatura de extrusão apresentaram um comportamento linear, sendo os maiores valores encontrados na região de baixa umidade (<18%) e alta temperatura (>160°C).

Os valores médios encontrados de cistina [Cys]₂ e leucina (Leu) foram 3,78 e 6,99 g/100g proteína, respectivamente (**Tabela 28**). O experimento 5 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) foi o que apresentou o maior teor de Leu (7,28) e o menor de [Cys]₂ (3,35), enquanto no experimento 12 (FITG72, 26% de umidade e 140°C) foi verificado o maior teor de [Cys]₂ (4,07). Já o experimento 10 (FITG112, 21% de umidade e 140°C) foi o que mostrou o menor valor para a Leu (6,76). Pelos gráficos de superfície (**Figura 25**), observa-se que estes dois aminoácidos foram influenciados pelo conteúdo de umidade, a [Cys]₂ aumentando e a Leu diminuindo seus teores com o aumento da umidade.

A lisina (Lys) apresentou valor médio de 2,68 g/100g de proteína (**Tabela 28**), tendo o experimento 5 apresentado o menor teor deste aminoácido (1,42) e o 13 (FITG72, 21% de umidade e 106°C), o maior (3,26g/100g). Os gráficos de superfície (**Figura 25**) comprovaram a destruição da Lys às altas temperaturas, onde foram encontrados os menores valores, combinados à região de baixa umidade.

A umidade parece ter um efeito protetor sobre a Lys porque umidades acima de 21% e altas temperaturas, o gráfico mostrou uma região de altos valores. O efeito benéfico de um conteúdo mais alto de umidade na retenção de lisina já foi demonstrado por outros autores (NOGUCHI et al., 1982 e BJÖRCK et al., 1983, ambos citados por BJÖRCK & ASP, 1984).

Da mesma forma que para as FITG, as 19 FIETG também apresentaram a lisina como o primeiro aminoácido limitante e a treonina como o segundo. Contudo, os valores encontrados para treonina foram bastante próximos ao recomendado pelo padrão da FAO para pré-escolares de 2 a 5 anos de idade (FAO/WHO/UNU, 1985), que é 3,4 g/100g, enquanto que o conteúdo dos demais aminoácidos continuou superior ao valor recomendado que é 3,5 para valina; 2,8 para isoleucina; 6,6 para leucina; 1,9 para histidina; 2,5 para metionina+cistina e 6,3 g/100g para fenilalanina+tirosina.

As FIETG apresentaram escore químico (EQ) na faixa de 24 a 56 (**Tabela 28**), com valor médio de 46. Portanto, diminuiu em relação as FITG que variou de 56 a 61. Isto é consequência da destruição de lisina pelo processamento térmico durante a extrusão, uma vez que o EQ é calculado com base no aminoácido limitante. Assim, as conclusões são as mesmas que para a lisina, inclusive os gráficos de superfície (**Figura 25**) são semelhantes.

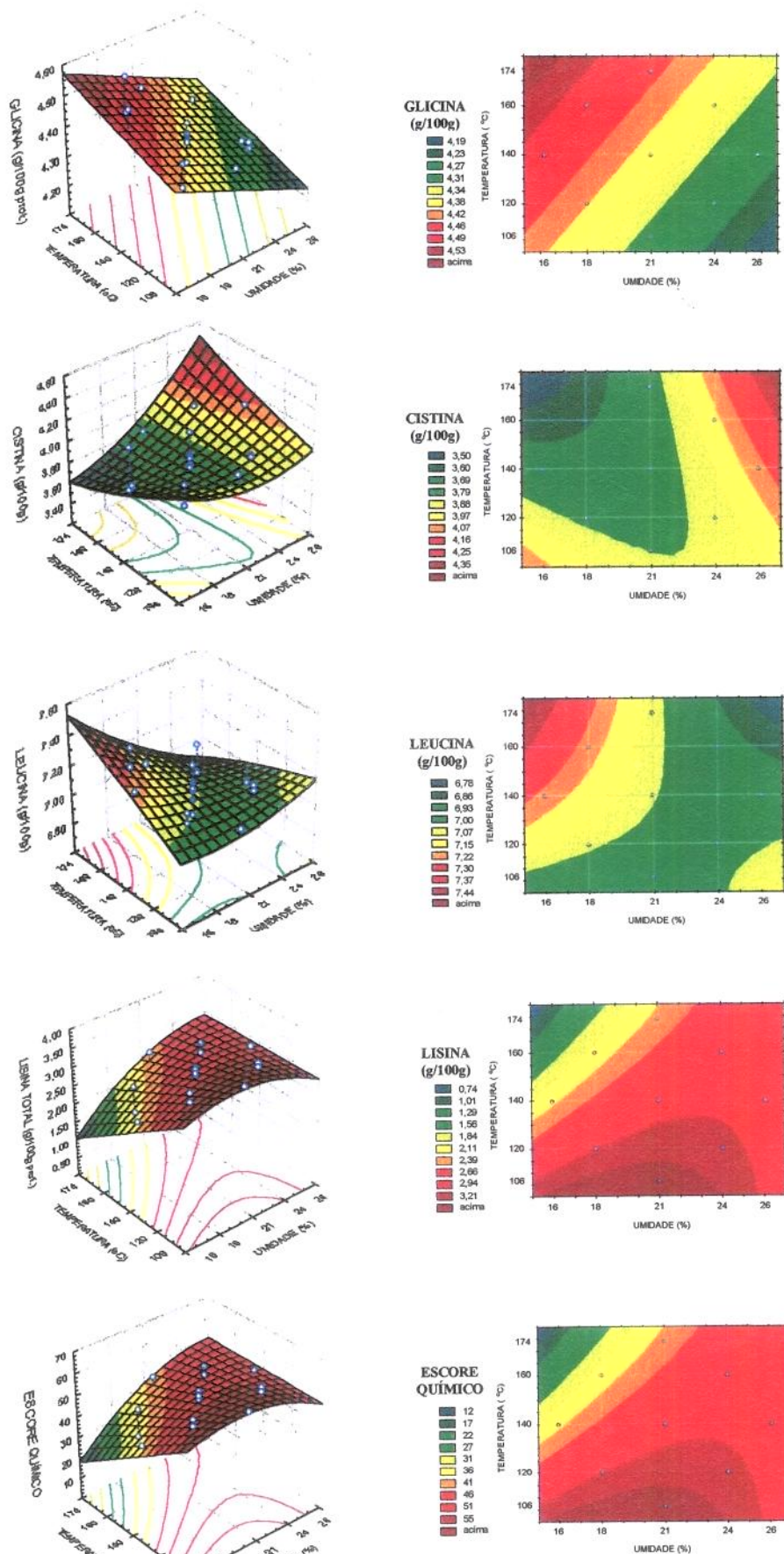


Figura 25. Efeito da umidade e temperatura no teor de aminoácidos e escore químico das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais. Glicina, cistina, leucina, lisina e escore químico= variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72 h).

A retenção de lisina nas FIETG em relação as FITG que lhes deram origem (FITG32, 48, 72, 96 e 112) variou de 43,83 a 98,79% nos experimento 5 e 13 (FITG72, 21% de umidade e 106°C), respectivamente, o que equivale a uma perda de Lys de 56,17 e 1,21%, respectivamente (Tabela 30). As maiores retenções de Lys seguintes, variaram de 88,89 à 96,60% e foram verificadas na temperatura de 120°C (equivalente a 11,11 e 3,40% de perda de Lys, respectivamente), enquanto retenções de 80,61 à 86,06% foram encontradas nos experimentos do ponto central (correspondente a 19,39 à 13,94% de perda).

4.4.6. Índices de Avaliação “In Vitro”

Os alimentos muitas vezes contém quantidades consideráveis de nutrientes, porém estes nem sempre estão numa forma assimilável pelo organismo, assim é fundamental conhecer sua disponibilidade. Muitos experimentos tem sido realizados com animais, porém devido a alta correlação com os métodos da avaliação “in vitro”, estes vem sendo usados com bastante frequência.

A lisina é o primeiro aminoácido limitante nos cereais e devido sua importância principalmente na alimentação infantil, determinou-se a sua disponibilidade nas FIETG. A lisina disponível encontrada na faixa de 0,90 a 2,29g/100g, nos experimentos 5 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) e 19 (FITG72, 21% de umidade e 140°C), respectivamente, sendo o valor médio de 1,62 g/100g de proteína. Os teores de lisina disponível em relação ao teor de lisina total (encontrado na análise de aminoácidos) correspondem a uma disponibilidade média de lisina de 61%, variando de 39% no experimento 1 (FITG48, 18% de umidade e 120°C) à 88% no experimento 14 (FITG72, 21% de umidade e 174°C).

Estes resultados foram bem mais baixos em relação as FITG (Tabela 15). Isto explica-se porque tratamentos térmicos, como a extrusão aceleram a velocidade das reações, como a reação de Maillard, tornando a lisina e outros aminoácidos menos assimiláveis.

Nos gráficos de superfície para a lisina disponível (Figura 26) observa-se que os valores desta aumentaram com o aumento da umidade. Isto pode ter ocorrido porque em umidades mais elevadas, o cisalhamento é menor e a possibilidade de que ocorram reações com a lisina diminui. Para a porcentagem de disponibilidade de lisina, a umidade não teve influência, verificou-se claramente pelos gráficos o efeito linear da temperatura de extrusão sobre as FIETG. Os maiores valores foram verificados em altas temperaturas, devido a menor viscosidade dentro do extrusor, fazendo com que o tempo de residência da farinha dentro do mesmo, seja menor.

A digestibilidade “in vitro” variou de 86,12 a 100,46% (Tabela 30), em média 91,93%. O maior valor foi encontrado no experimento 7 (FITG48, 24% de umidade e 160°C) e o menor no 2 (FITG96, 18% de umidade e 120°C). Pela representação gráfica (Figura 26), elaborada a partir do modelo completo, notou-se que a menor resposta foi em temperatura inferior a 120°C e umidade superior a 22% e os maiores valores em altas temperaturas (>160°C) e alta umidade (>24%). Neste caso, a maior digestibilidade protéica é consequência direta da maior disponibilidade dos aminoácidos contidos nas proteínas, nestas condições de processamento.

Em alguns casos a digestibilidade da FIETG aumentou em relação a FITG (p. ex., experimento 7), porém as diferenças foram pequenas e é bem provável que não sejam estatisticamente significativas. Contudo, pode ser que a farinha de trigo germinado apresente características que mudem o padrão geral de comportamento.

A digestibilidade protéica corrigida pelo escore de aminoácidos (PDCAAS) apresentou valor médio de 40% quando calculada pela digestibilidade verdadeira – PDCAAS¹ (variou de 21 a 49%) e 42% quando calculada pela digestibilidade “in vitro”- PDCAAS² (variou de 22 a 49%) (Tabela 30).

Para o PDCCAS¹ o maior valor foi encontrado no experimento 13 e o menor no 5, que foram os que apresentaram uma maior e menor porcentagem de retenção de lisina (total), respectivamente. Para o PDCCAS² o maior valor foi verificado nos experimentos 10 e 13.

Embora os gráficos de superfície (Figura 26) não tenham sido exatamente iguais, apresentaram a mesma tendência, ou seja, os maiores valores de PDCAAS foram verificados na região com baixas temperaturas e altas umidades e os menores na área de baixas umidades e altas temperaturas. Ou seja, condições mais drásticas, com maior taxa de cisalhamento produziram FIETG com menor PDCAAS.

Segundo LINKO et al. (1981) a extrusão e o processamento de alimentos podem reduzir a digestibilidade protéica devido às interações entre proteínas e polissacarídeos não digeríveis presentes nas paredes celulares.

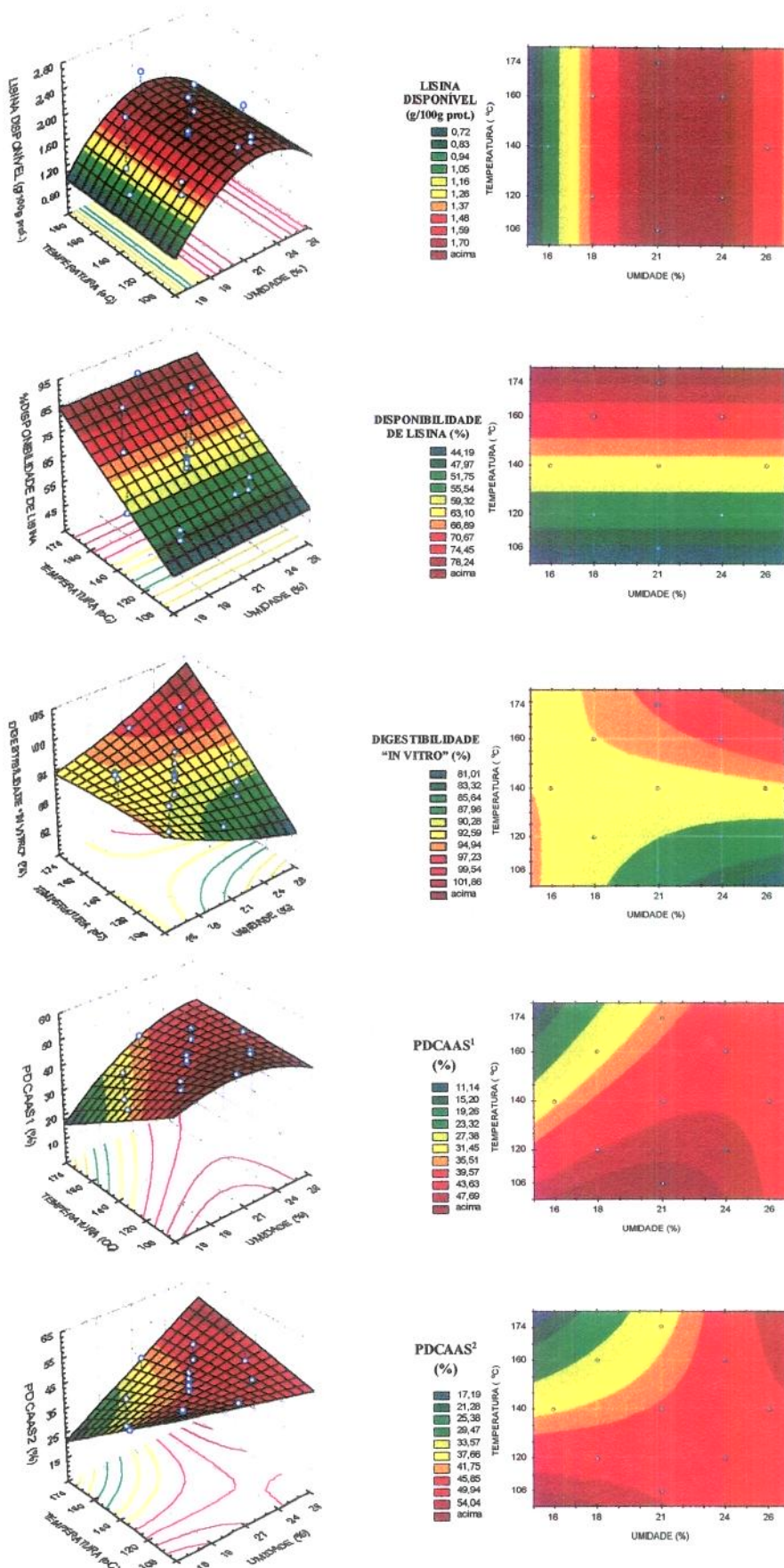


Figura 26. Efeito das variáveis independentes nos índices de avaliação "in vitro" das FIETG

Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais.

Lisina disponível, % de disponibilidade de lisina, digestibilidade "in vitro", PDCAAS¹, PDCAAS² = variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72 h).

4.5. EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DAS FARINHAS INTEGRAIS EXTRUSADAS DE TRIGO GERMINADO (FIETG)

4.5.1. Análise Estatística dos Resultados

As médias dos dados experimentais de densidade aparente, índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade de água (ISA) das FIETG estão apresentadas na Tabela 32 e as análises estatísticas resumidas estão nos Anexos 9A-9C. A Tabela 33 apresenta os modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) das respostas que foram significativas, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 32. Média e desvio padrão dos dados experimentais de densidade aparente, IAA e ISA das FIETG

ENSAIO	VAR. INDEPENDENTES			RESPOSTAS		
	X_1	X_2	X_3	Densidade Aparente	IAA (g gel / g mat.seca)	ISA (%)
1	48	18	120	0,6850 $\pm$ 0,0094	4,46 $\pm$ 0,04	18,71 $\pm$ 0,66
2	96	18	120	0,7076 $\pm$ 0,0058	4,34 $\pm$ 0,15	21,28 $\pm$ 0,39
3	48	24	120	0,6944 $\pm$ 0,0001	5,82 $\pm$ 0,05	17,11 $\pm$ 0,25
4	96	24	120	0,6881 $\pm$ 0,0055	5,96 $\pm$ 0,06	20,83 $\pm$ 0,15
5	48	18	160	0,5952 $\pm$ 0,0001	4,23 $\pm$ 0,02	35,30 $\pm$ 0,37
6	96	18	160	0,6881 $\pm$ 0,0055	4,27 $\pm$ 0,00	23,81 $\pm$ 0,08
7	48	24	160	0,6977 $\pm$ 0,0056	5,96 $\pm$ 0,06	22,81 $\pm$ 2,27
8	96	24	160	0,6944 $\pm$ 0,0001	5,62 $\pm$ 0,09	23,31 $\pm$ 0,19
9	32	21	140	0,7213 $\pm$ 0,0121	5,56 $\pm$ 0,27	19,62 $\pm$ 0,26
10	112	21	140	0,7109 $\pm$ 0,0058	5,30 $\pm$ 0,03	21,07 $\pm$ 0,08
11	72	16	140	0,6667 $\pm$ 0,0089	4,40 $\pm$ 0,01	24,70 $\pm$ 0,09
12	72	26	140	0,7010 $\pm$ 0,0056	5,98 $\pm$ 0,03	20,57 $\pm$ 0,16
13	72	21	106	0,7109 $\pm$ 0,0058	3,27 $\pm$ 0,06	20,96 $\pm$ 0,93
14	72	21	174	0,6199 $\pm$ 0,0088	4,55 $\pm$ 0,00	24,01 $\pm$ 0,22
15	72	21	140	0,7010 $\pm$ 0,0056	5,17 $\pm$ 0,06	21,01 $\pm$ 0,30
16	72	21	140	0,7109 $\pm$ 0,0058	5,22 $\pm$ 0,08	20,48 $\pm$ 0,16
17	72	21	140	0,7077 $\pm$ 0,0115	5,14 $\pm$ 0,06	21,27 $\pm$ 0,35
18	72	21	140	0,7143 $\pm$ 0,0000	5,07 $\pm$ 0,05	21,06 $\pm$ 0,21
19	72	21	140	0,7246 $\pm$ 0,0001	5,01 $\pm$ 0,06	21,69 $\pm$ 0,15

X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C)

Resultados representam a média de 3 determinações $\pm$ desvio padrão

Tabela 33. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para densidade aparente, IAA e ISA das FIETG

RESPOSTA	MODELO AJUSTADO*	R^2
Densidade aparente	$y_i = 0,7122 + 0,0065x_1 + 0,0115x_2 - 0,0185x_3 - 0,0111x_2^2 - 0,0176x_3^2 - 0,0156x_1x_2 + 0,0149x_2x_3$	83,29%
IAA	$y_i = 5,3084 + 0,6383x_2 + 0,1210x_3 - 0,4049x_3^2$	82,82%
ISA	$y_i = 22,0842 - 0,1655x_1 - 1,6098x_2 + 2,3744x_3 - 2,16x_1x_3$	61,31%

y_i = função resposta genérica; X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C)

*= $p \leq 0,05$ (nível de probabilidade pelo Teste F); *itálico*= mantido porque o termo de interação ou quadrático foi significativo ($p \leq 0,05$).

Para a *densidade aparente* das FIETG, o R^2 do modelo matemático preditivo mostra que 86,75% das respostas explicáveis pelo modelo completo (**Anexo 9A**) foi reduzido para 83,29% no modelo ajustado e o C.V mudou de 2,45% para 2,49%, respectivamente. A falta de ajuste não significativa do resíduo (5,39%), indicou um bom ajuste do modelo aos dados experimentais. Os efeitos lineares e quadráticos de umidade e de temperatura, de interação entre tempo de germinação e umidade e de umidade e temperatura, foram os que mais influenciaram esta resposta, como pode ser visto na **Tabela 33**.

Para o *IAA* das FIETG, é possível notar pela análise de variância (**Anexo 9B**) que, embora o coeficiente de determinação (R^2) seja 87,52% e o coeficiente de variação 7,33%, a falta de ajuste foi significativa, porém esta foi considerada aparente uma vez que o quadrado médio do erro experimental foi bem pequeno (WASZCZYNSKYJ et al., 1981). Contudo, para melhorar as conclusões, foi realizada a ANOVA modificada, que confirmou somente os efeitos lineares. Após o ajuste do modelo o R^2 caiu para 82,82% e o C.V.(%) para 6,67% (**Tabela 33**). O efeito linear da umidade e quadrático da temperatura foram os mais importantes para o IAA.

Da mesma forma que para o IAA, o *ISA* das FIETG também apresentou R^2 alto (81,82%), coeficiente de variação adequado (10,07%) e falta de ajuste significativa (**Anexo 9C**). A falta de ajuste também foi considerada aparente, pelo mesmo motivo que para o ISA. Por isso, embora a ANOVA modificada não tenha confirmado nenhum dos efeitos, realizou-se o ajuste do modelo. O modelo ajustado apresentou R^2 de 61,31% e C.V. de 11,79% (**Tabela 33**). Esta resposta foi influenciada pelos efeitos lineares da umidade e temperatura e de interação entre tempo de germinação e temperatura de extrusão.

Para a *avaliação de cor* das FIETG, a partir da análise das médias dos dados experimentais apresentadas na **Tabela 34**, primeiramente foram elaborados modelos de regressão completos, que são mostrados nos **Anexos 9D-9G** e a seguir os modelos foram ajustados, ficando somente os termos significativos ao nível de 5% de probabilidade, como pode ser visto na **Tabela 35**. Estes modelos explicaram o comportamento das respostas dentro do intervalo de variação estudado.

Pode-se observar nos **Anexos 9D à 9G** que para as respostas de cor: L^* (luminosidade), a^* (coordenada de cromaticidade a^*), b^* (coordenada de cromaticidade b^*) e ΔE^* (diferença de cor) das FIETG, os coeficientes de correlação (R^2) foram maiores que 80% (91,36, 88,71, 92,17, 92,31%, respectivamente), os coeficientes de variação menores que 15% (2,21, 12,22, 3,5, 8,44%, respectivamente) e não houve falta de ajuste para L^* , b^* e ΔE^* , indicando um bom ajuste destes modelos aos dados experimentais. Contudo, a coordenada de

cromaticidade a^* apresentou falta de ajuste significativa (Anexo 9E) e embora o quadrado médio do erro experimental fosse baixo, procedeu-se um novo cálculo da análise de variância utilizando o quadrado médio da falta de ajuste (ANOVA modificada), que confirmou somente os efeitos lineares.

Tabela 34. Médias e desvio padrão dos dados experimentais de cor das FIETG

ENSAIO	VAR. INDEPENDENTES			RESPOSTAS			
	X_1	X_2	X_3	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
1	48	18	120	72,68 ± 0,73	4,59 ± 0,18	22,82 ± 0,27	14,12 ± 0,66
2	96	18	120	73,02 ± 1,42	4,38 ± 0,57	22,92 ± 0,17	13,96 ± 1,04
3	48	24	120	73,13 ± 0,17	3,52 ± 0,43	20,63 ± 0,35	12,10 ± 0,31
4	96	24	120	67,52 ± 1,98	5,72 ± 0,69	25,02 ± 0,19	19,37 ± 1,63
5	48	18	160	60,06 ± 0,28	9,18 ± 0,05	26,83 ± 0,02	26,87 ± 0,23
6	96	18	160	63,96 ± 0,18	8,41 ± 0,21	28,04 ± 0,32	24,45 ± 0,35
7	48	24	160	70,17 ± 0,88	4,85 ± 0,36	23,50 ± 0,38	16,32 ± 0,59
8	96	24	160	63,54 ± 1,24	8,42 ± 0,68	28,23 ± 0,67	24,88 ± 1,19
9	32	21	140	67,13 ± 1,32	6,62 ± 0,50	25,77 ± 0,13	20,30 ± 1,04
10	112	21	140	66,56 ± 0,58	7,05 ± 0,31	27,41 ± 0,68	21,92 ± 0,87
11	72	16	140	63,10 ± 0,29	9,20 ± 0,13	27,93 ± 0,18	25,20 ± 0,19
12	72	26	140	67,53 ± 0,56	5,67 ± 0,37	24,82 ± 0,54	19,22 ± 0,70
13	72	21	106	72,86 ± 1,67	4,39 ± 0,65	21,54 ± 0,25	13,01 ± 1,39
14	72	21	174	66,35 ± 0,66	7,27 ± 0,22	26,82 ± 0,07	21,69 ± 0,47
15	72	21	140	67,14 ± 0,65	6,81 ± 0,19	27,09 ± 0,24	21,25 ± 0,37
16	72	21	140	68,68 ± 0,97	6,15 ± 0,33	25,88 ± 0,32	19,23 ± 0,76
17	72	21	140	67,97 ± 0,04	6,67 ± 0,11	27,00 ± 0,67	20,60 ± 0,52
18	72	21	140	69,12 ± 0,75	6,01 ± 0,23	26,44 ± 0,23	19,33 ± 0,54
19	72	21	140	68,62 ± 0,66	6,34 ± 0,23	26,46 ± 0,19	19,72 ± 0,48

X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C);

Resultados representam a média de 3 determinações ± desvio padrão; L^* = luminosidade (100=branco, 0=preto), coordenadas de cromaticidade: a^* (-) verde / vermelho (+) e b^* (-) azul / amarelo (+), ΔE^* = diferença de cor

Tabela 35. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para a cor das FIETG

RESPOSTA	MODELO AJUSTADO*	R^2
Luminosidade	$y_i = 67,8495 - 0,6559x_1 + 0,8853x_2 - 2,8971x_3 - 2,06x_1x_2 + 1,8425x_2x_3$	82,39%
Coordenada a^*	$y_i = 6,3816 + 0,4037x_1 - 0,7312x_2 + 1,2808x_3 + 0,8438x_1x_2$	77,66%
Coordenada b^*	$y_i = 26,2407 + 0,9656x_1 - 0,6195x_2 + 1,7638x_3 - 0,9828x_3^2 + 0,9763x_1x_2$	89,23%
Diferença de cor	$y_i = 20,5861 + 1,1696x_1 - 1,2292x_2 + 3,4829x_3 - 1,2883x_3^2 + 2,3013x_1x_2 - 1,6888x_2x_3$	91,16%

y_i = função resposta genérica; X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C)
 *= $p \leq 0,05$ (nível de probabilidade pelo Teste F); *italico*= mantido porque o termo de interação foi significativo ($p \leq 0,05$).

Após a simplificação dos modelos (Tabela 35), os R^2 dos modelos matemáticos explicaram 82,39% das respostas de L^* , 77,66% de a^* , 89,23% de b^* e 91,16% de ΔE^* , e apresentaram C.V. de 2,62, 13,78, 3,41 e 7,84% respectivamente, podendo ser usados com fins preditivos, dentro da região estudada.

Os termos que mais influenciaram a *luminosidade* foram o efeito linear da temperatura e os efeitos de interação da umidade com o tempo de germinação e com a temperatura de extrusão. A *coordenada de cromaticidade a** foi afetada pelos efeitos lineares da umidade e da temperatura e de interação entre tempo de germinação e umidade, enquanto a *coordenada de cromaticidade b**, além destes três efeitos foi acrescida do efeito linear do tempo de germinação e quadrático da temperatura. A *diferença de cor* foi influenciada pelos mesmos efeitos que *b**, mais o efeito de interação entre umidade e temperatura de extrusão.

Desta forma, os efeitos lineares de umidade e temperatura e o efeito de interação entre tempo de germinação do trigo e umidade da farinha foram os que tiveram maior influência sobre os parâmetros de cor avaliados.

As médias dos dados experimentais para as características de pasta: tempo de viscosidade máxima, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante e viscosidade final das FIETG são apresentadas na Tabela 36, enquanto que os modelos de regressão e as análises de variância estão nos Anexos 9H-9M. A Tabela 37 apresenta os modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) das respostas significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 36. Médias dos dados experimentais das características de pasta das FIETG

ENSAIO	VAR. INDEPENDENTES			RESPOSTAS			
	X_1	X_2	X_3	tempo de η^* máx. (min.)	η máxima (cP)	η mín. à Temp. constante (cP)	η final (cP)
1	48	18	120	6,550 $\pm$ 0,04	318,00 $\pm$ 6,67 ^{b,c}	211,00 $\pm$ 18,38	413,50 $\pm$ 28,99
2	96	18	120	6,925 $\pm$ 0,05	252,00 $\pm$ 21,21 ^{c,d,e,f}	158,00 $\pm$ 14,14	373,50 $\pm$ 26,16
3	48	24	120	5,760 $\pm$ 0,08	398,00 $\pm$ 11,31 ^{a,b}	234,00 $\pm$ 2,83	457,00 $\pm$ 5,66
4	96	24	120	5,465 $\pm$ 0,08	241,50 $\pm$ 51,62 ^{c,d,e,f}	144,00 $\pm$ 41,01	276,50 $\pm$ 44,55
5	48	18	160	1,865 $\pm$ 0,54	134,00 $\pm$ 8,49 ^e	50,50 $\pm$ 3,54	67,50 $\pm$ 2,12
6	96	18	160	6,700 $\pm$ 0,00	190,00 $\pm$ 12,73 ^{c,f,g}	153,00 $\pm$ 15,56	182,00 $\pm$ 11,31
7	48	24	160	1,960 $\pm$ 0,35	469,00 $\pm$ 66,47 ^a	131,00 $\pm$ 18,38	264,00 $\pm$ 12,73
8	96	24	160	4,980 $\pm$ 0,24	224,50 $\pm$ 12,02 ^{d,e,f}	81,00 $\pm$ 4,24	135,00 $\pm$ 0,00
9	32	21	140	6,255 $\pm$ 0,12	281,00 $\pm$ 28,28 ^{c,d}	224,50 $\pm$ 41,72	313,50 $\pm$ 48,79
10	112	21	140	5,305 $\pm$ 0,01	187,00 $\pm$ 8,49 ^{f,g}	131,50 $\pm$ 14,85	197,00 $\pm$ 5,66
11	72	16	140	6,225 $\pm$ 0,12	261,00 $\pm$ 7,07 ^{c,d,e,f}	146,00 $\pm$ 5,66	189,00 $\pm$ 11,31
12	72	26	140	5,395 $\pm$ 0,05	289,00 $\pm$ 62,23 ^{c,d}	106,00 $\pm$ 1,41	198,50 $\pm$ 6,36
13	72	21	106	6,215 $\pm$ 0,04	274,00 $\pm$ 2,83 ^{c,d,e}	190,50 $\pm$ 0,71	418,00 $\pm$ 4,24
14	72	21	174	4,935 $\pm$ 0,09	220,50 $\pm$ 7,78 ^{d,e,f}	121,00 $\pm$ 4,24	188,50 $\pm$ 0,71
15	72	21	140	6,780 $\pm$ 0,04	263,50 $\pm$ 17,68 ^{c,d,e,f}	223,00 $\pm$ 8,49	303,50 $\pm$ 12,02
16	72	21	140	6,960 $\pm$ 0,00	272,50 $\pm$ 4,95 ^{c,d,e}	237,00 $\pm$ 9,90	326,50 $\pm$ 3,54
17	72	21	140	6,820 $\pm$ 0,08	256,00 $\pm$ 21,21 ^{c,d,e,f}	204,50 $\pm$ 13,44	277,00 $\pm$ 8,49
18	72	21	140	6,830 $\pm$ 0,11	280,50 $\pm$ 19,09 ^{c,d}	228,00 $\pm$ 14,14	324,50 $\pm$ 10,61
19	72	21	140	6,770 $\pm$ 0,08	262,00 $\pm$ 19,80 ^{c,d,e,f}	218,50 $\pm$ 19,09	300,50 $\pm$ 19,09

X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C);

Resultados representam a média de 2 determinações $\pm$ desvio padrão; * η = viscosidade;

* Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); n.s.= não significativo

Tabela 37. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para as características de pasta das FIETG

RESPOSTA	MODELO AJUSTADO*	R^2
Tempo de viscosidade máxima	$y_i = 5,7208 + 0,4640x_1 - 0,8309x_3 + 0,9719x_1x_3$	49,08%
Viscosidade mínima à temperatura constante (95°C)	$y_i = 222,3456 - 18,0789x_1 - 3,6447x_2 - 32,8299x_3 - 16,4273x_1^2 - 34,8076x_2^2 - 24,2920x_3^2 - 23,6875x_1x_2 + 24,4375x_1x_3$	90,71%
Viscosidade final	$y_i = 298,1244 - 31,5526x_1 + 8,1986x_2 - 92,1069x_3 - 33,5961x_2^2 - 48,0x_1x_2$	87,34%

y_i = função resposta genérica; X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C);
 * = $p \leq 0,05$ (nível de probabilidade pelo Teste F); *idílico* = mantido porque o termo de interação ou quadrático foi significativo ($p \leq 0,05$)

A ANOVA para as características de pasta (**Anexos 9H, 9I, 9L e 9M**), mostrou coeficientes de determinação (R^2) de 77,89% para o tempo de viscosidade máxima, 81,92% para a viscosidade máxima, 90,71% para viscosidade mínima à temperatura constante (95°C) e 94,36% para viscosidade final das FIETG, enquanto os C.V. foram de 17,46, 16,49, 14,39 e 12,55%, respectivamente. Destas respostas, somente a viscosidade final não apresentou falta de ajuste, indicando que as outras respostas necessitavam uma nova análise (ANOVA modificada) devido a falta de ajuste ter sido significativa.

A ANOVA modificada para o tempo de viscosidade máxima (**Anexo 9H**), não foi significativa ao nível de 5%, porém a falta de ajuste foi considerada aparente devido ao baixo valor do quadrado médio do erro puro. Procedeu-se o ajuste do modelo, que apresentou R^2 de 49,08% e C.V. de 20,52%, não devendo contudo, ser usado para fins preditivos, mas somente como indicador de tendência. O efeito linear da temperatura e de interação entre tempo de germinação e temperatura de extrusão foram os que mais influenciaram esta resposta.

O modelo para a viscosidade máxima (**Anexo 9I**), mostrou efeitos lineares (tempo de germinação e umidade) e de interação (umidade com tempo de germinação e com temperatura) significativos ao nível de 5%, com R^2 de 81,92%. Porém, não pode ser usado para fins preditivos, porque além da falta de ajuste, o erro experimental foi alto e a ANOVA modificada não confirmou nenhum efeito significativo ($p \leq 0,05$). Deve haver alguma outra variável influenciando esta resposta, além das estudadas, tornando o modelo inadequado. Assim, foi realizado o teste de Tukey, como pode ser visto no **Anexo 9J**. Não foram observadas diferenças significativas entre os pontos centrais, indicando a precisão dos resultados.

Para a viscosidade mínima à temperatura constante (**Anexo 9L**), a ANOVA modificada confirmou que os termos lineares e quadráticos do modelo foram significativos ($p \leq 0,05$) indicando que este poderia ser ajustado. O modelo ajustado permaneceu com R^2 de 90,71% e o C.V. diminuiu para 13,65%, podendo ser usado com fins preditivos. Quase todos

os termos tiveram influência sobre esta resposta: efeitos lineares do tempo de germinação e da temperatura, quadrático das três variáveis independentes e de interação do tempo de germinação do trigo com a umidade e com a temperatura.

O modelo para *viscosidade final* (Anexo 9M) foi satisfatório e após o ajuste, o modelo apresentou R^2 de 87,34% e C.V. de 15,65%, podendo ser usado para fins preditivos. Os efeitos lineares do tempo de germinação e temperatura de extrusão; quadrático da umidade e de interação entre tempo de germinação e umidade foram os mais importantes para esta resposta.

As médias dos dados experimentais de força do gel e viscosidade a 37°C são mostradas na Tabela 38 e a análise estatística é apresentada nos Anexos 9N e 9O. A Tabela 39 apresenta os modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para estas respostas.

Tabela 38. Média e desvio padrão dos dados de força do gel e viscosidade a 37°C das FIETG

ENSAIO	VAR. INDEPENDENTES			RESPOSTAS	
	X ₁	X ₂	X ₃	Força do gel (kg.f)	Viscosidade a 37°C (cP)
1	48	18	120	135,4 ± 9,6	110 ± 8
2	96	18	120	63,4 ± 13,8	88 ± 4
3	48	24	120	130,9 ± 13,5	333 ± 7
4	96	24	120	60,7 ± 2,2	190 ± 9
5	48	18	160	20,0 ± 2,0	96 ± 5
6	96	18	160	48,6 ± 4,5	127 ± 15
7	48	24	160	54,1 ± 3,9	420 ± 10
8	96	24	160	26,8 ± 1,3	175 ± 15
9	32	21	140	84,8 ± 2,9	234 ± 17
10	112	21	140	33,0 ± 2,9	136 ± 5
11	72	16	140	84,3 ± 1,6	145 ± 4
12	72	26	140	47,1 ± 2,9	273 ± 36
13	72	21	106	87,7 ± 5,8	8 ± 1
14	72	21	174	50,7 ± 6,2	216 ± 16
15	72	21	140	67,0 ± 5,5	198 ± 9
16	72	21	140	70,0 ± 1,3	208 ± 10
17	72	21	140	67,3 ± 12,8	197 ± 14
18	72	21	140	66,6 ± 4,9	167 ± 2
19	72	21	140	70,0 ± 7,7	177 ± 7

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)
Resultados representam a média de 3 determinações ± desvio padrão

Tabela 39. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para força do gel e viscosidade a 37°C das FIETG

RESPOSTA	MODELO AJUSTADO*	R ²
Força do gel	$y_i = 65,95 - 17,7752x_1 - 21,1131x_3 + 19,7938x_1x_3$	82,51%
Viscosidade a 37°C	$y_i = 184,1053 - 39,8174x_1 + 66,7945x_2 + 32,7169x_3 - 49,625x_1x_3$	77,31%

y_i= função resposta genérica; X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)
*= p ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo Teste F)

A análise de variância dos modelos completos de força do gel e viscosidade a 37°C (Anexos 9N-9P) mostrou que os coeficientes de correlação (R^2) foram altos, 90,20 e 84,53%, respectivamente, porém os C.V. também foram elevados, 20,27 e 27,70%, respectivamente. Estes altos C.V. se devem à grande amplitude de variação dos resultados nos 14 ensaios (Anexos 9O e 9Q), uma vez que os cinco resultados do ponto central (ensaios 15-19) apresentaram valores bastante próximos, com C.V. baixos (apenas 2,47% para força do gel e 8,89% para a viscosidade a 37°C). A falta de ajuste significativa indicou que estas respostas necessitavam uma nova análise. Assim, a ANOVA modificada para estas duas respostas confirmou a significância dos efeitos lineares.

O R^2 do modelo de regressão ajustado para a *força do gel* das FIETG (Tabela 33) explicou 82,51% das respostas, com C.V. de 20,97% devido a variação dos 14 ensaios. Os efeitos lineares do tempo de germinação e da temperatura e de interação entre estes dois fatores, foram os que tiveram maior influência sobre esta resposta.

Para a *viscosidade a 37°C* das FIETG, após o ajuste do modelo, o R^2 caiu para 77,31%, como pode ser visto na Tabela 39, apresentando C.V. de 26,89%, também em consequência dos 14 ensaios. Os efeitos lineares das três variáveis independentes e de interação entre tempo de germinação e temperatura de extrusão, foram os que apresentaram maior influência no comportamento das FIETG para esta resposta.

4.5.2. Densidade Aparente

A densidade aparente é um dos parâmetros utilizados na especificação de embalagem, transporte e armazenamento. Conforme LEWIS (1993) depende de uma série de fatores como a densidade de seus componentes, a geometria, o tamanho, as propriedades de superfície e o método de medida.

A densidade aparente das FIETG foi uma resposta que apresentou diferenças notáveis. Foi observado durante o enchimento de frascos iguais para o estudo de estabilidade ao armazenamento, que estes não conseguiam conter todos a mesma quantidade de farinha. O frasco do ensaio 5 foi o que conteve menor quantidade de amostra, mesmo batendo o frasco para compactar a farinha, não foi possível colocar a mesma quantidade dos demais. Os ensaios 14 e 11 também apresentaram este comportamento, embora em menor dimensão.

De acordo com isto, o ensaio 5 (FITG48, 18% de umidade, 160°C) foi o que apresentou menor densidade aparente, seguido pelos ensaios 14 e 11 (que combinam FITG72, 21% de umidade, 174°C e FITG72, 16% de umidade, 140°C, respectivamente).

Para melhor visualização, a partir do modelo ajustado da densidade aparente das FIETG (Tabela 33), foram traçados gráficos de superfície que mostram a variação desta resposta em função do conteúdo de umidade e da temperatura de extrusão, com o tempo de germinação do trigo fixado no ponto central do delineamento (72h), conforme Figura 27.

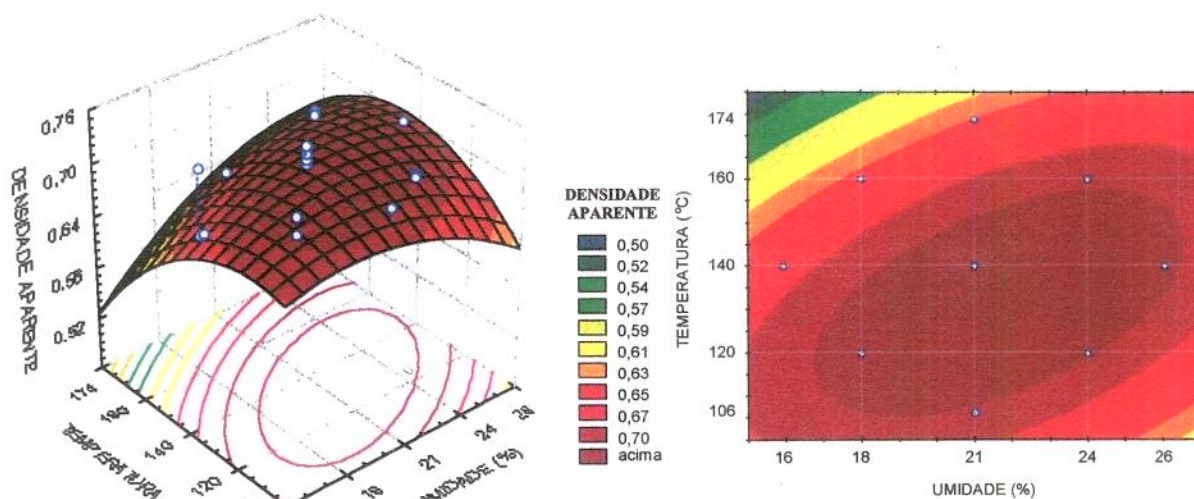


Figura 27. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na densidade aparente das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h).

A umidade e a temperatura foram as variáveis que mais afetaram esta resposta. Os maiores valores de densidade aparente situaram-se em umidade de 17-26% e temperatura inferior a 155°C. Enquanto os menores valores foram na região de umidade menor que 18% e temperatura maior que 165°C.

Conforme BHATTACHARYA & HANNA (1985), em temperaturas mais altas, há maior ocorrência de gelatinização do amido. Isto significa que o material fundido tem alta viscosidade e, por esta razão, uma pressão mais alta é produzida, causando um aumento na expansão e diminuição na densidade.

Porém, no presente trabalho, os extrusados que apresentaram menor densidade embora tenham sido produzidos em temperaturas altas, não foram os que apresentaram as maiores expansões radiais, isto se explica porque os amidos apresentam um comportamento diferente de produtos como as FITG, que possuem fibras alimentares, lipídios e proteína em sua composição que interferem prejudicando a expansão radial na saída da matriz, mas que devem ter aumentado a expansão longitudinal.

4.5.3. Índices de Absorção de Água (IAA) e de Solubilidade em Água (ISA)

O IAA está intimamente relacionado com o grau de gelatinização do amido, isto é, depende da disponibilidade de grupos hidrofílicos para se ligarem à moléculas de água e da capacidade de formar gel das macromoléculas (FAUBION et al., 1982; GOMEZ & AGUILERA, 1983). Os grupos hidrofílicos disponíveis aumentam com o grau de gelatinização, enquanto a capacidade de formação de gel diminui com a dextrinização.

O amido nativo, praticamente não apresenta absorção de água à frio, já um amido pré-gelatinizado apresenta valores relativamente altos, dependendo do grau de severidade do tratamento a que foi submetido. Se as condições de extrusão forem brandas, os valores para o IAA são relativamente altos; se severos, os valores sofrerão um decréscimo em virtude da maior degradação molecular do amido (LINKO et al., 1981). No caso de farinhas, também as proteínas tem um importante papel na absorção de água, com a desnaturação, a capacidade de absorção de água diminui.

A partir do modelo ajustado para o IAA das FIETG (Tabela 33) foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais, com o tempo de germinação fixado no ponto central (72h), como pode ser observado na Figura 28.

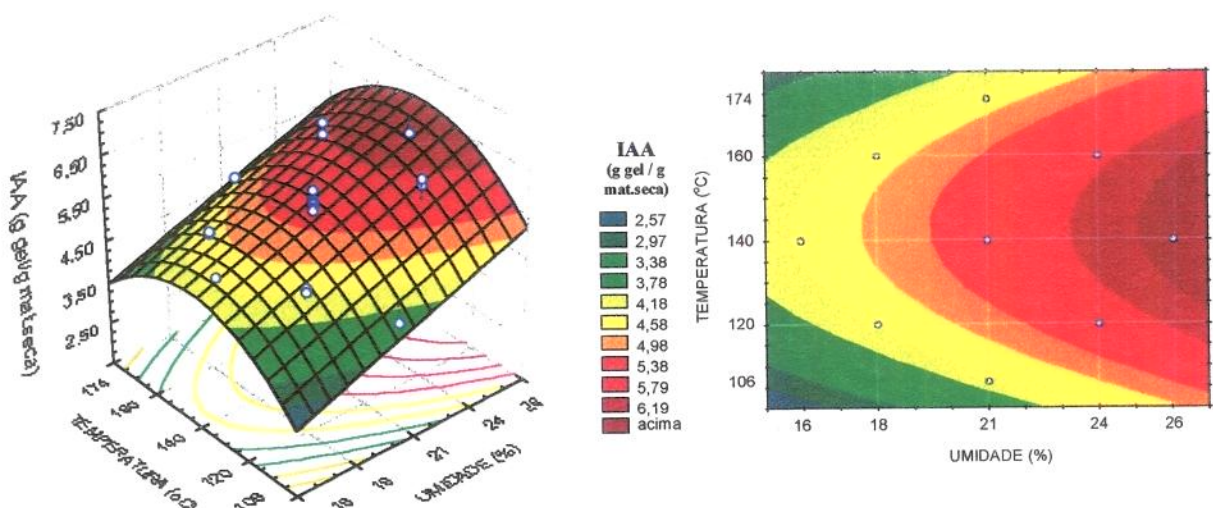


Figura 28. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no IAA das FIETG

Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h).

As principais variáveis que afetaram o IAA, foram a umidade da farinha e a temperatura de extrusão. O IAA aumentou com o aumento da umidade, portanto, a maior absorção de água foi encontrada em região de alta umidade (>25%), juntamente com temperatura intermediária (de aproximadamente 125 a 160°C).

O maior teor de umidade faz com que as estruturas dos componentes da farinha sejam mais preservadas e, conseqüentemente, maior a capacidade de absorção de água (VILELA & EL-DASH, 1987).

O ISA também reflete a severidade do processo de extrusão aplicado sobre o amido. A gelatinização do amido por extrusão acarreta uma destruição da estrutura dos polímeros, permitindo a sua liberação e, conseqüentemente o seu ISA aumenta em relação ao amido nativo. Este parâmetro é diretamente proporcional à temperatura de extrusão e seus valores são menores com o aumento do teor de umidade da matéria-prima (MERCIER & FEILLET, 1975; MEUSER et al., 1982; OLKKU et al., 1984).

A partir do modelo ajustado do ISA das FIETG (Tabela 33), foram traçados gráficos que mostram a variação desta resposta em função da umidade e da temperatura de extrusão, o tempo de germinação do trigo foi fixado no ponto central, como pode ser visto na Figura 29.

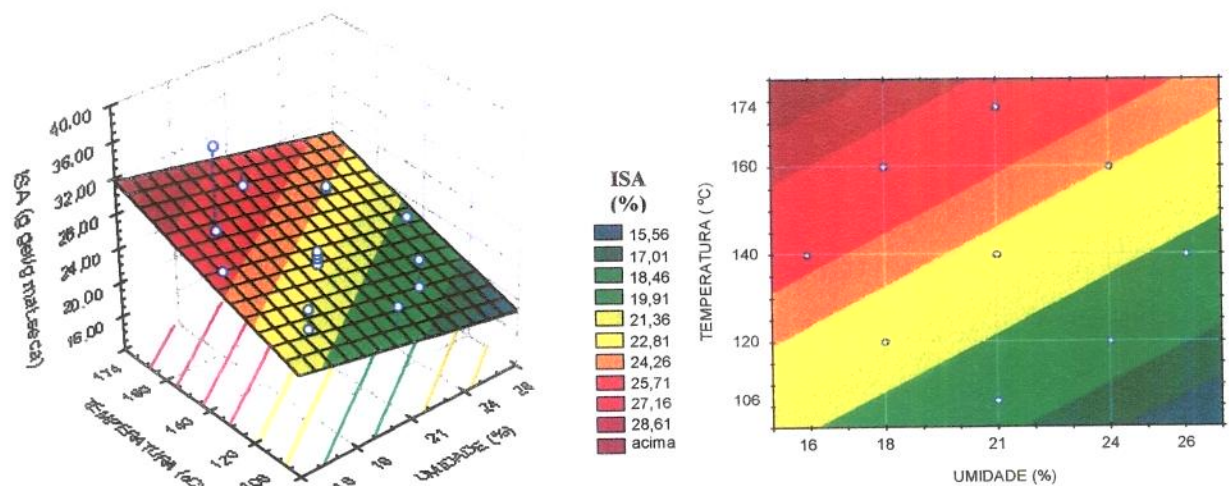


Figura 29. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no ISA das FIETG
Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais.
Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h).

Os menores valores foram obtidos em alta umidade (>24%) e baixa temperatura (106°C). Por outro lado, temperaturas superiores a 155°C e umidades inferiores 18%, produziram FIETG com ISA mais elevados. Com menor umidade há mais fricção e atrito e, conseqüentemente maior quebra dos grânulos de amido gelatinizados, aumentando o ISA (VILELA & EL-DASH, 1987).

Os valores de IAA e ISA, podem ser interpretados, com base nas interações amido-água e serem usados para estimar a adequabilidade do uso dos produtos extrusados em suspensões ou soluções. As aplicações em meios com água limitada são baseadas nessas 2 propriedades funcionais (CAMARGO et al, 1988).

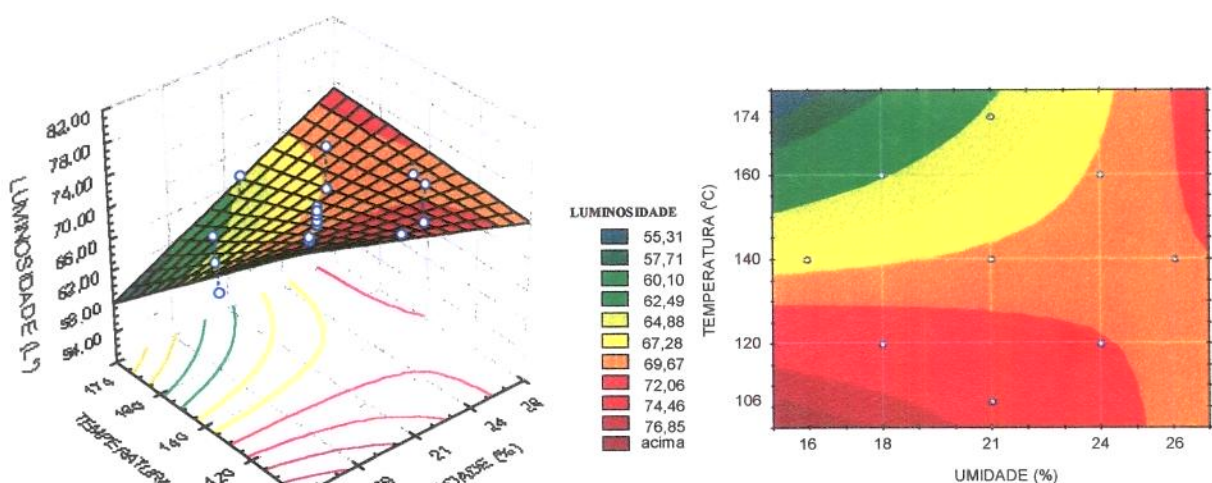
4.5.4. Cor

A formação de cor durante o processamento pode fornecer importante informação sobre o grau de tratamento térmico. A cor é também uma importante característica de qualidade dos alimentos extrusados (LINKO et al., 1981).

Fisicamente, a cor é uma característica da luz, mensurável em termos de intensidade (energia radiante) e comprimentos de onda. Quando praticamente toda a energia visível é refletida de uma superfície opaca, o objeto aparece como branco; se a luz é parcialmente absorvida, o objeto aparece cinzento e se a absorção for praticamente completa, o resultado será um objeto preto (CHAVES, 1980).

Para o mesmo autor, este relacionamento geral da absorção com a reflexão, sem considerar comprimentos de onda específicos, é chamado, psicologicamente, de clareza ou valor e, fisicamente, de luminosidade ou reflectância. Todavia, se a energia radiante for absorvida em certos comprimentos de onda mais que em outros, o observador vê o que ele chama de cor e que, fisicamente, é o comprimento de onda dominante.

A partir do modelo ajustado de luminosidade (L^*) das FIETG (Tabela 35), foram traçados gráficos de superfície que mostram a variação desta resposta em função do conteúdo de umidade e da temperatura de extrusão, com o tempo de germinação do trigo fixado no ponto central do delineamento, como pode ser visto na Figura 30.



Nos gráficos de superfície para a *luminosidade* das FIETG (Figura 30), pode-se observar que as FITG processadas em temperaturas e umidades baixas ($<115^{\circ}\text{C}$ e $<18\%$, respectivamente), produziram FIETG mais claras (maior valor de L^*) e em temperaturas mais altas ($>165^{\circ}\text{C}$) e umidades baixas ($<18\%$), mais escuros (menor valor de L^*). Além disso, ocorreu efeito de interação da umidade com o tempo de germinação: FIETG mais claras, foram obtidas com tempos de germinação menores ($<21\%$) e baixas temperaturas ($<120^{\circ}\text{C}$).

A partir dos modelos ajustados das coordenadas de cromaticidade a^* e b^* (Tabela 35), foram traçados gráficos de superfície que mostram a variação destas respostas em função do conteúdo de umidade e da temperatura de extrusão, com o tempo de germinação do trigo fixado no ponto central do delineamento, como pode ser visto nas Figuras 31 e 32.

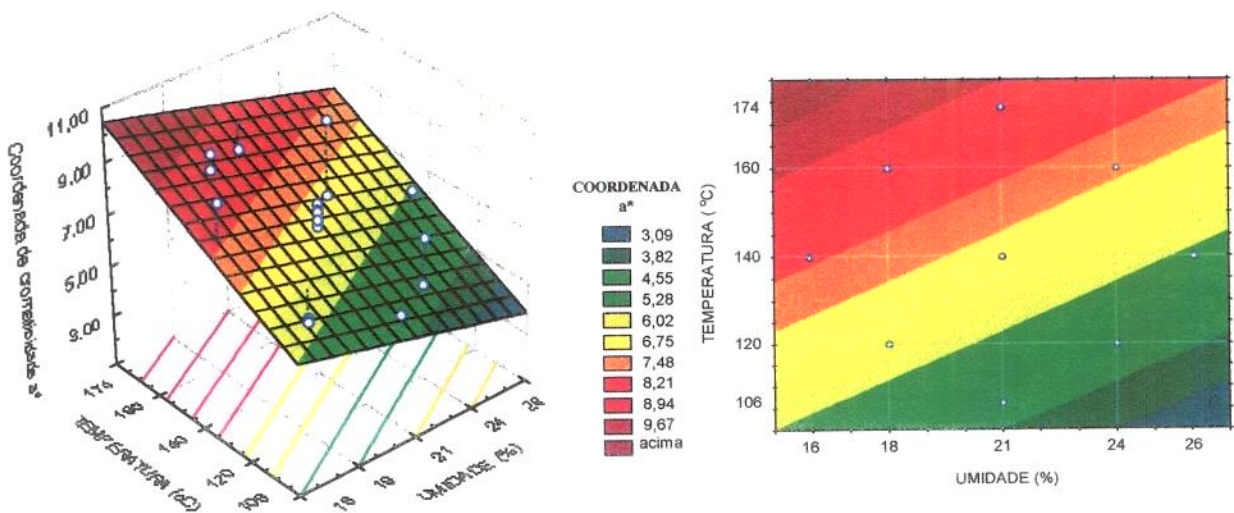


Figura 31. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na coordenada de cromaticidade a^* das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo = 72h). (+a = vermelho)

Nota-se pelos gráficos acima, que o comportamento de umidade e temperatura foi linear, em baixas umidades ($<18\%$) e temperaturas mais altas ($>160^{\circ}\text{C}$), os valores de a^* foram maiores (farinhas mais avermelhadas). Por outro lado, os valores da coordenada de cromaticidade a^* diminuíram (farinhas ficaram menos avermelhadas), à medida que aumentou a umidade (de 16 a 26%) sendo mantida temperatura baixa ($<110^{\circ}\text{C}$).

Os valores mais baixos para coordenada de cromaticidade b^* (menos amarelados) foram verificados em FIETG processadas em temperatura de 106°C e umidade maior que 24%, enquanto os mais elevados foram obtidos com tempo de germinação de 72 a 112h e temperatura superior a 140°C . Na região de FITG112 e umidade superior a 25%, foram produzidas FIETG com maior valor da coordenada de cromaticidade b^* .

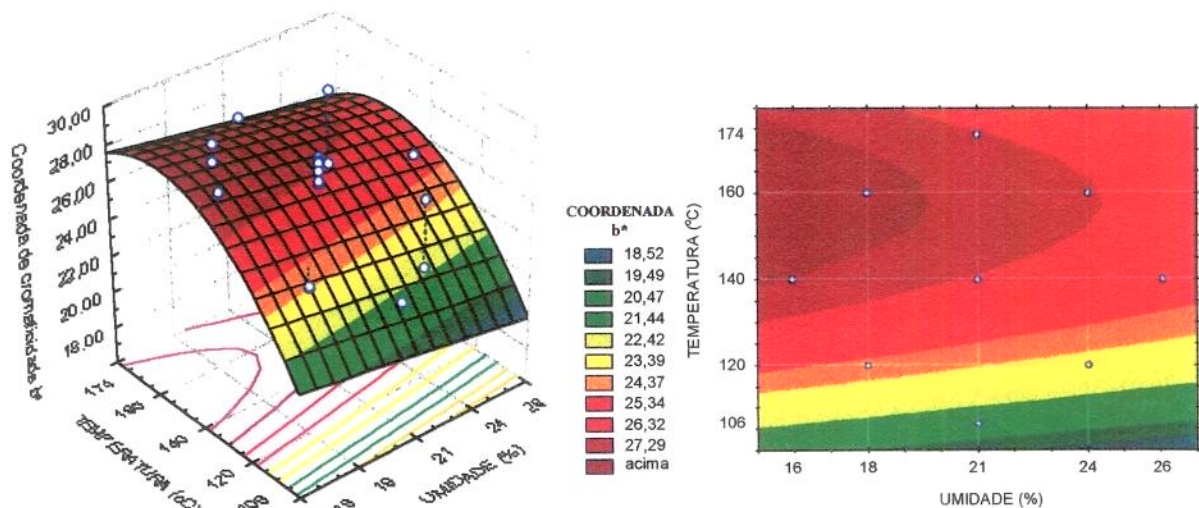


Figura 32. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na coordenada de cromaticidade b^* das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h). (+b= amarelo)

A produção de FIETG mais escuras e com tons mais intensos de amarelo e vermelho em temperaturas mais altas, pode ser devido a reação de escurecimento não enzimático (Reação de Maillard), pela reação de aminoácidos livres com açúcares redutores, estes últimos presentes em grande quantidade nas FITG.

A partir do modelo ajustado para diferença de cor (ΔE^*) das FIETG (Tabela 33) foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais, com o tempo de germinação fixado no ponto central, como pode ser observado na Figura 33.

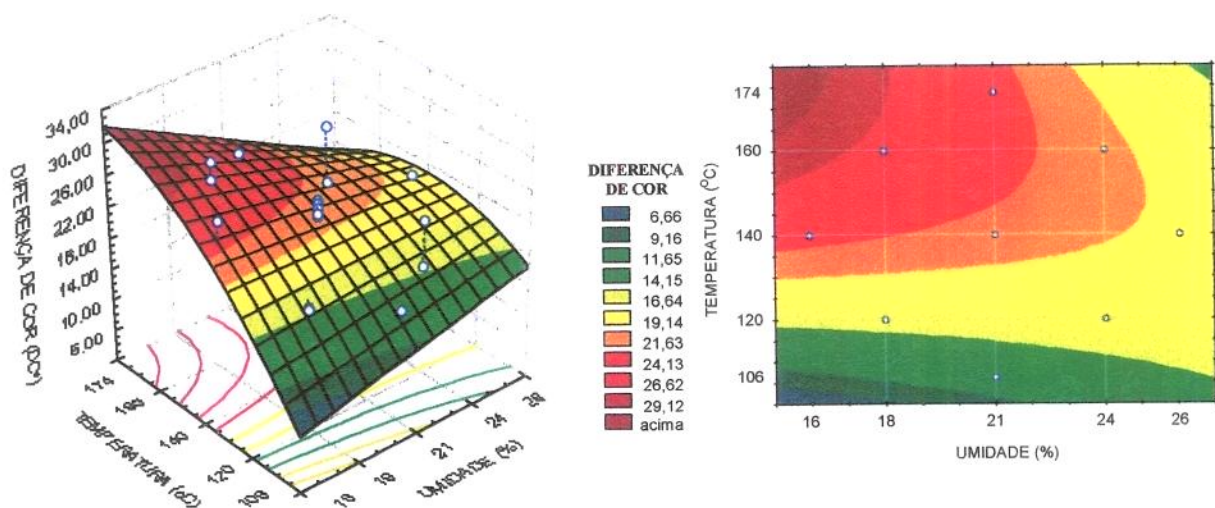


Figura 33. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade na diferença de cor (ΔE^*) das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h).

A menor diferença de cor (12,10) em relação à farinha de trigo integral foi verificada no ensaio 3 (FITG48, 24% de umidade e 120°C), o ensaio mais claro (maior L*). O maior valor para esta resposta foi notado no ensaio 5, que foi também o mais escuro (menor L*).

Pelos contornos de superfície observa-se que as farinhas processadas em umidades baixas (<18%) e temperaturas mais altas (>150°C), em geral, apresentaram uma maior diferença de cor. A FIETG que apresentou cor mais semelhante à da farinha de trigo integral foi a do ensaio 3, seguida do ensaio 13.

Em geral, para todas as características de cor avaliadas (L*, a*, b* e ΔE^*), os ensaios 3 e 5 foram os que apresentaram respostas mais diferenciadas dos demais, o primeiro com características mais próximas às da farinha de trigo integral.

Através dos parâmetros de cor avaliados neste trabalho, conclui-se que podem ser produzidas farinhas com diferentes tonalidades, dependendo das condições de processamento e respostas semelhantes são obtidas em diferentes condições experimentais. A escolha irá depender da aplicação a que se destina ou dos produtos em que serão empregadas.

4.5.5. Características de Pasta

As características de pasta são bastante representativas do efeito das variáveis no processo de extrusão, sendo um indicativo do grau de processamento térmico ocorrido. Assim, o efeito do tempo de germinação, umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão sobre a gelatinização do amido das farinhas integrais de trigo germinado foi estudado medindo-se as características de pasta pelo RVA ("Rapid Visco Analyser").

O comportamento dos amidos extrusados é caracterizado pela ausência de um pico de gelatinização durante o aquecimento, pela alta viscosidade a frio antes do aquecimento, pelo declínio contínuo da viscosidade de 50 a 95°C e pelo forte decréscimo da viscosidade no intervalo de 90 a 95°C, com um ponto de inflexão (CAMARGO et al., 1988).

A *viscosidade máxima* de uma farinha extrusada reflete a degradação molecular do amido. A gelatinização térmica e mecânica dos grânulos de amido leva a uma quebra estrutural e, conseqüentemente, a uma perda da integridade do grânulo. A intensidade dessa quebra, depende do tipo de amido (origem), da temperatura, do cisalhamento mecânico e de agentes químicos presentes durante a gelatinização do amido. Condições severas, como altas tensões de cisalhamento e temperaturas elevadas, produzem pastas com baixa viscosidade a quente, em função da maior degradação dos grânulos de amido (EL-DASH et al., 1984; MASON & HOSENEY, 1986; CAMARGO et al., 1988).

Os valores de *viscosidade máxima* (Tabela 36) variaram de 134 à 469 cP, sendo o valor médio 267,5 cP. Pela comparação pelo teste de Tukey observou-se que a maior resposta foi encontrada no ensaio 7 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) e a menor no ensaio 5 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) que não diferiu significativamente dos ensaios 10 (FITG112, 21% de umidade e 140°C) e 6 (FITG96, 18% de umidade e 160°C). O ensaio 5 foi também o que apresentou a menor densidade aparente e o maior ISA, o que talvez justifique sua menor viscosidade.

A partir do modelo ajustado (Tabela 37) das características de pasta das FIETG: tempo de viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante (95°C) e viscosidade final (50°C), foram traçados gráficos de superfície que mostram a variação destas respostas em função do tempo de germinação do trigo e da temperatura de extrusão, com o teor de umidade fixado no ponto central do delineamento, conforme Figuras 34, 35 e 36.

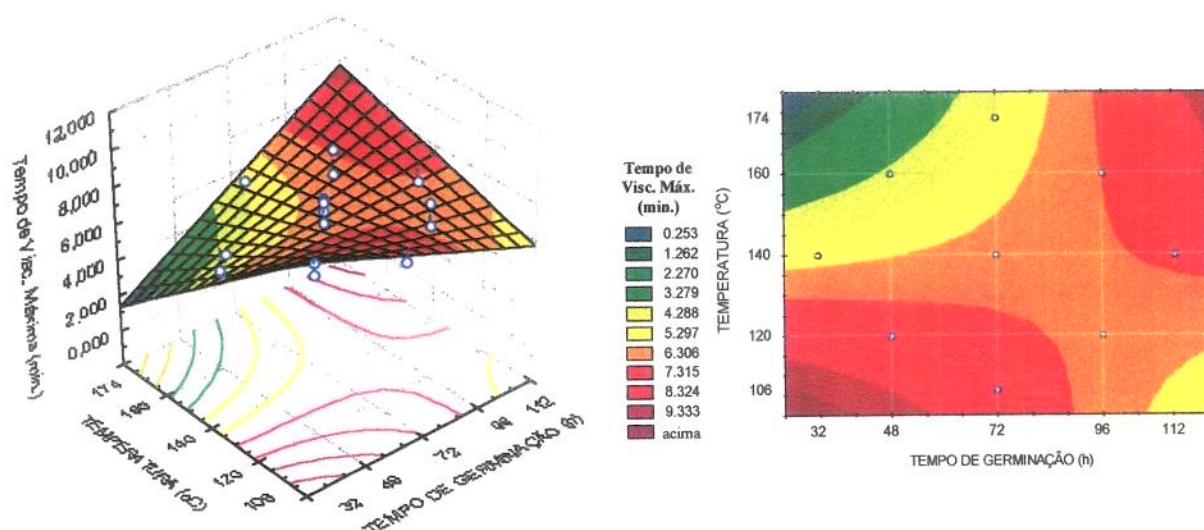


Figura 34. Efeito do tempo de germinação e da temperatura no tempo de viscosidade máxima. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (conteúdo de umidade= 21%).

Pelos contornos de superfície pode-se observar, que os maiores tempos de viscosidade máxima ocorreram em temperatura de extrusão menor que 115°C empregando farinhas com tempos de germinação do trigo inferiores a 48 horas. Os menores valores foram verificados em temperatura acima de 170°C e farinhas com os mesmos tempos de germinação.

O ensaio 5 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) foi o que apresentou o menor resultado, o que está de acordo com seu menor valor de viscosidade máxima.

A viscosidade mínima à temperatura constante está relacionada ao comportamento do amido durante o processamento. Tratamentos drásticos rompem a estrutura do grânulo e ele perde a capacidade de manter a viscosidade, apresentando, conseqüentemente, baixos valores para esta resposta.

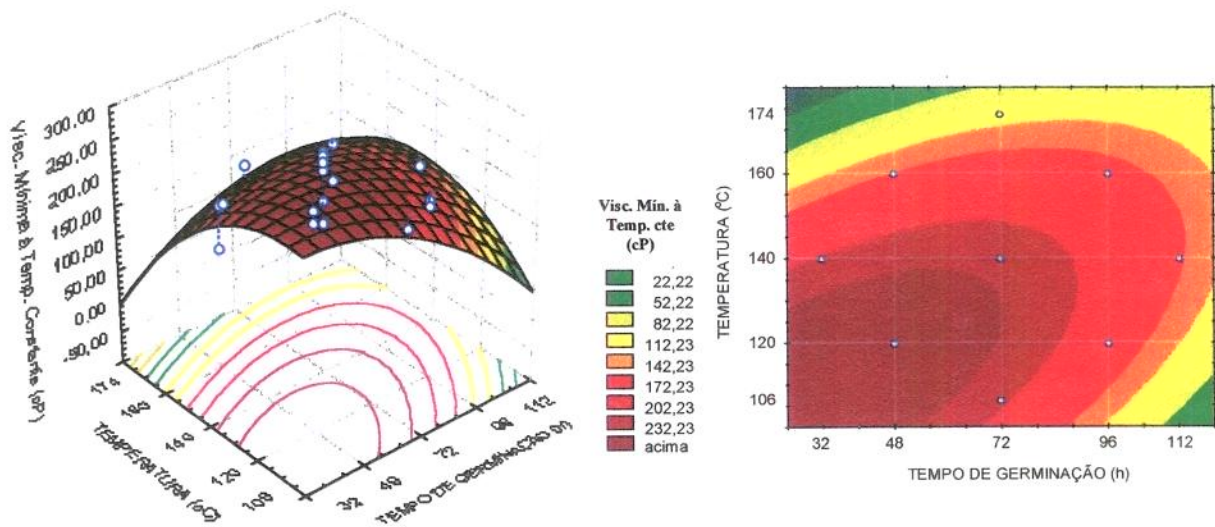


Figura 35. Efeito do tempo de germinação e da temperatura na visc. mínima à temperatura constante. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (conteúdo de umidade= 21%).

Pelos gráficos de superfície verifica-se que os maiores valores de viscosidade mínima à temperatura constante (95°C), foram encontrados nas regiões dos níveis inferiores e centrais de tempo de germinação do trigo e temperatura de extrusão. À medida que a temperatura aumentou (até 170°C) e o tempo de germinação foi mais longo (até 112h), os valores para esta resposta foram diminuindo, ou seja, os grânulos de amido foram se tornando mais frágeis.

O menor resultado foi encontrado no ensaio 5 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) e o maior no ensaio 3 (FITG48, 24% de umidade e 120°C), seguido do 9 (FITG32, 21% de umidade e 140°C) e 15 à 19 (região central).

A viscosidade final é uma medida da retrogradação do amido e, em produtos extrusados, irá depender das modificações que ocorrem na estrutura do grânulo e das moléculas (EL-DASH, 1981). Foi observado por CAMARGO et al. (1998), que a retrogradação das pastas de amido extrusadas é função do conteúdo de umidade, temperatura e rotação da rosca do extrusor.

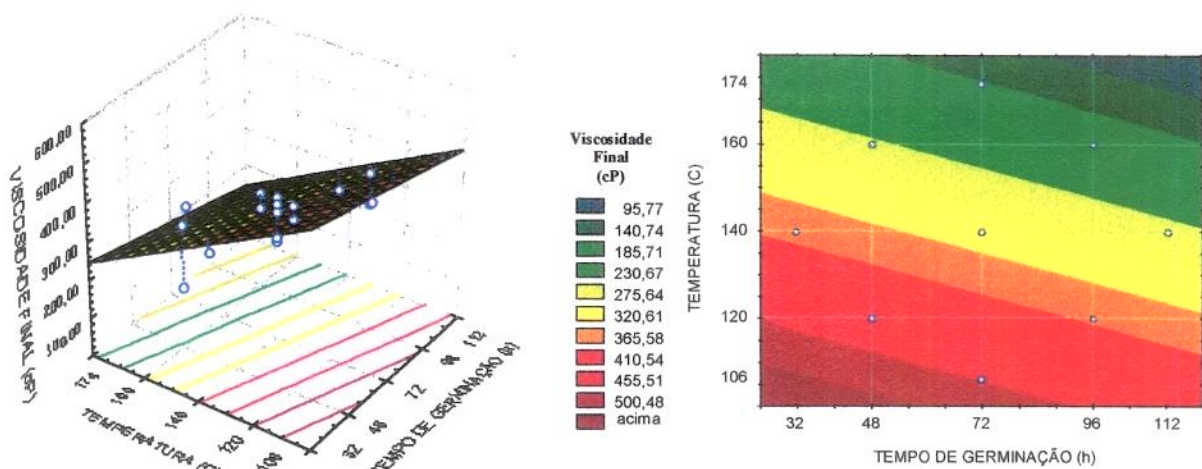


Figura 36. Efeito do tempo de germinação do trigo e da temperatura de extrusão na viscosidade final. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (conteúdo de umidade= 21%).

Os gráficos de superfície (Figura 36) mostram que a maior viscosidade final foi encontrada na região de baixa temperatura de extrusão e tempos de germinação mais curtos. Isto porque quando aumenta a temperatura ou o tempo de germinação, aumenta a degradação do amido e diminui sua capacidade de associar-se na retrogradação. A menor viscosidade final foi verificada em alta temperatura ($>170^{\circ}\text{C}$) e tempos de germinação longos ($>96\text{h}$). O menor valor foi encontrado no ensaio 5 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) e o maior no 13 (FITG72, 21% de umidade e 106°C). Portanto, a FIETG do ensaio 13 possivelmente foi a que apresentou a maior retrogradação e a do ensaio 5, a menor.

Pelos resultados obtidos para as características de pasta, verificou-se que valores semelhantes para as respostas podem ser encontrados em condições de processamento diferentes. Contudo, pode-se observar também que o ensaio 5 (48h de germinação, 18% de umidade e 160°C) foi o que apresentou os menores valores para todas as respostas.

As FIETG com diferentes características de pasta, produzidas no presente trabalho, apresentam rápida dispersão em água quente, formando produtos de várias consistências, o que permite seu uso industrial em alimentos instantâneos.

4.5.4. Força do Gel

As propriedades de textura de um gel estão intimamente relacionadas a sua utilização no alimento e a outras aplicações. Muitos parâmetros podem ser usados para descrever textura, entre os quais encontramos a dureza ou força do gel, que se relaciona a firmeza do gel e a sua capacidade de aderência (LI et al., 1997).

Em relação as matérias-primas, a farinha integral controle formou gel com $91,3 \pm 8,3$ kg.f e as FITG não formaram, devido às modificações ocorridas na germinação do trigo. No entanto, quando submetidas ao processo de extrusão, produziram FIETG que formaram géis.

A partir do modelo ajustado para força do gel das FIETG (Tabela 39) foram elaborados gráficos de superfície de resposta, tri e bidimensionais, com o conteúdo de umidade das farinhas fixado no ponto central (21%), como pode ser observado na Figura 37.

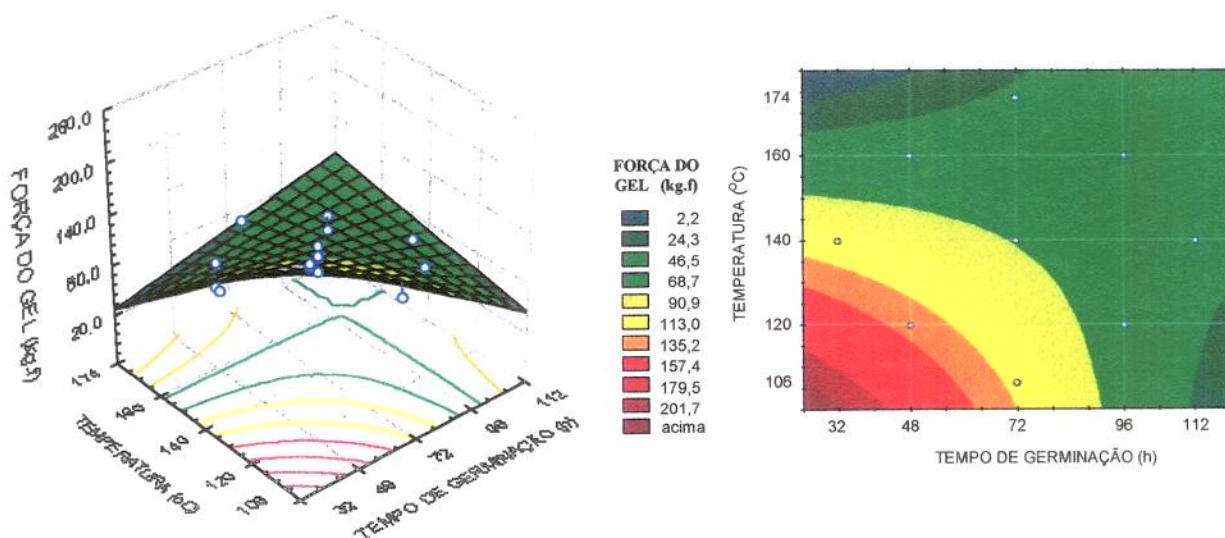


Figura 37. Efeito do tempo de germinação e da temperatura de extrusão na força do gel das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (conteúdo de umidade= 21%).

Experimentalmente, a menor força do gel foi verificada no ensaio 5 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) e a maior no ensaio 1 (FITG48, 18% de umidade e 120°C), indicando que a temperatura de extrusão foi determinante para esta resposta. Pelos gráficos de superfície nota-se, claramente, que um efeito de interação entre o tempo de germinação do trigo e a temperatura de extrusão também contribuiu para esta resposta.

Géis mais firmes, foram obtidos com tempo de germinação curtos ($<48\text{h}$) e baixas temperaturas ($<120^{\circ}\text{C}$), devido a menor degradação molecular do amido. Géis mais fracos foram verificados em 2 regiões: de menor tempo de germinação ($<48\text{h}$) combinada com altas temperaturas ($>165^{\circ}\text{C}$) e de maior tempo de germinação ($>110\text{h}$) com baixas temperaturas ($<130^{\circ}\text{C}$).

A formação de géis menos firmes em temperaturas mais baixas, pode ter ocorrido devido ao aumento de desdobramento do amido com o aumento do tempo de germinação nas FITG, em tempos maiores, o que tornaria mais facilmente degradável, mesmo nestas condições de temperatura.

4.5.5. Viscosidade a 37°C

A viscosidade a 37°C depende do grau de gelatinização dos grânulos de amido e da extensão da quebra molecular durante o processo de extrusão. Refere-se à viscosidade da suspensão farinha-água nesta temperatura.

A partir do modelo ajustado de viscosidade a 37°C (**Tabela 39**), foram traçados gráficos de superfície que mostram a variação desta resposta em função do tempo de germinação do trigo e da temperatura de extrusão, com o conteúdo de umidade fixado no ponto central do delineamento (21%), conforme **Figura 38**.

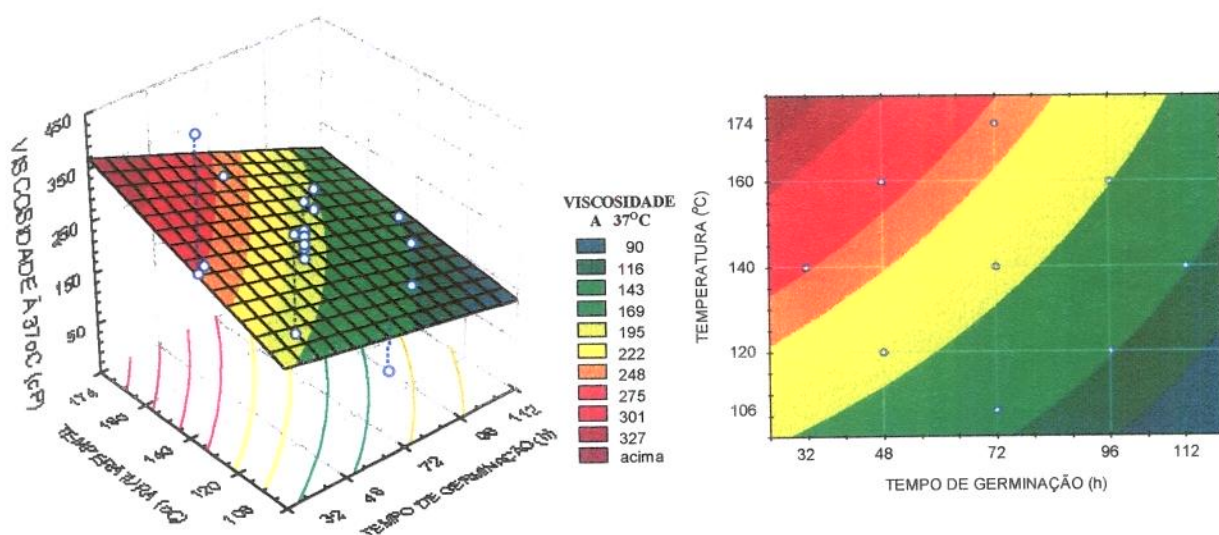


Figura 38. Efeito do tempo de germinação e da temperatura de extrusão na viscosidade a 37°C das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são as médias dos dados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (conteúdo de umidade= 21%).

Pelos gráficos, observa-se que a viscosidade a 37°C foi maior com tempos de germinação curtos (<48h) e temperaturas de extrusão elevadas (>155°C) e, foi menor, em baixas temperaturas (<120°C) e tempos de germinação longos (>96h).

Comparando-se as médias experimentais de viscosidade a 37°C (**Tabela 38**), viscosidade mínima à temperatura constante (95°C) e viscosidade final à 50°C (**Tabela 36**), nota-se que, em geral, os valores encontrados para estas duas últimas respostas foram superiores aos da primeira, contudo, os ensaios que foram extrusados a 160 e 174°C apresentaram menor viscosidade do que a 37°C. Uma possível explicação para isto é que em temperaturas elevadas ocorre maior destruição dos biopolímeros, com conseqüente diminuição na viscosidade, que é intensificada quando se determina a viscosidade sob tratamento térmico (95°C) e no resfriamento (50°C), devido à maior solubilidade e menor absorção de água pelos biopolímeros nestas temperaturas do que a 37°C.

4.6. EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NA ESTABILIDADE AO ARMAZENAMENTO DAS FARINHAS INTEGRAIS EXTRUSADAS DE TRIGO GERMINADO (FIETG)

4.6.1. Análise Estatística dos Resultados

A estabilidade ao armazenamento das FIETG durante 6 meses, contados a partir da moagem das farinhas, foi verificada através de alterações no pH, da acidez álcool-solúvel e da formação de hexanal.

Os resultados experimentais de pH estão apresentados na Tabela 40, a análise estatística resumida desta resposta nos 4 tempos de armazenamento está nos Anexos 10A-10D e os modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) são mostrados na Tabela 41.

Tabela 40. Resultados experimentais de pH durante o armazenamento das FIETG

ENSAIO	VAR. INDEPENDENTES			RESPOSTA: pH			
	X_1	X_2	X_3	t_0 (0 meses)	t_1 (2 meses)	t_2 (4 meses)	t_3 (6 meses)
1	48	18	120	6,33	6,05	6,00	6,06
2	96	18	120	6,15	5,86	5,94	5,88
3	48	24	120	6,47	6,20	6,28	6,29
4	96	24	120	6,21	5,90	6,03	5,97
5	48	18	160	5,67	5,39	5,49	5,45
6	96	18	160	5,76	5,43	5,52	5,50
7	48	24	160	6,29	6,08	6,05	6,10
8	96	24	160	5,87	5,60	5,66	5,65
9	32	21	140	5,99	5,65	5,81	5,77
10	112	21	140	6,03	5,76	5,80	5,79
11	72	16	140	5,62	5,37	5,42	5,34
12	72	26	140	6,21	5,96	6,02	6,03
13	72	21	106	6,43	6,05	6,17	6,20
14	72	21	174	5,87	5,59	5,70	5,69
15	72	21	140	6,03	5,77	5,84	5,85
16	72	21	140	6,04	5,80	5,92	5,87
17	72	21	140	6,00	5,72	5,87	5,85
18	72	21	140	6,03	5,82	5,91	5,89
19	72	21	140	6,03	5,81	5,90	5,75

X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C)

Tabela 41. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para o pH

RESPOSTA	MODELO AJUSTADO*	R^2
pH - t_0 (0 meses)	$y_i = 6,0542 + 0,1407x_2 - 0,1839x_3$	72,98%
pH - t_1 (2 meses)	$y_i = 5,7795 + 0,1495x_2 - 0,1672x_3$	68,69%
pH - t_2 (4 meses)	$y_i = 5,8595 - 0,0503x_1 + 0,1522x_2 - 0,1699x_3 - 0,0763x_1x_2$	86,53%
pH - t_3 (6 meses)	$y_i = 5,8384 + 0,1670x_2 - 0,1726x_3$	71,75%

y_i = função resposta genérica; X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão ($^{\circ}$ C)
 * = $p \leq 0,05$ (nível de probabilidade pelo Teste F); ; *italico*=mantido porque o efeito de interação x_1x_2 foi significativo ($p \leq 0,05$)

De acordo com a ANOVA (Anexos 10A-10D) todos os modelos completos para o pH nos 4 tempos apresentaram: coeficiente de determinação (R^2) maior que 85%, coeficiente de variação baixo (<2,5%) e falta de ajuste significativa ao nível de 5%. A falta de ajuste foi considerada aparente devido ao quadrado médio do erro experimental ser muito baixo em todos os casos (WASWZCZYNSKYJ et al., 1981). Por isso, foi realizada a ANOVA modificada para melhorar as conclusões, que confirmou a significância dos efeitos lineares. Após o ajuste dos modelos o R^2 caiu para valores próximos a 70% e o C.V.(%) manteve-se baixo. Os efeitos lineares da umidade e da temperatura foram os mais importantes para o pH.

A Tabela 42 apresenta as médias dos dados experimentais de acidez álcool-solúvel, enquanto nos Anexos 10E-10H está a análise estatística resumida para os 4 tempos de armazenamento. A Tabela 43 mostra os modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2) das respostas de acidez álcool-solúvel no armazenamento.

Tabela 42. Médias dos dados experimentais de acidez álcool-solúvel no armazenamento das FIETG

ENSAIO	VAR. INDEPENDENTES			RESPOSTA: ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL			
	X_1	X_2	X_3	t_0 * (0 meses)	t_1 * (2 meses)	t_2 (4 meses)	t_3 (6 meses)
1	48	18	120	0,26 ± 0,02 ^c	0,28 ± 0,01 ^h	0,38 ± 0,01	0,43 ± 0,03
2	96	18	120	0,42 ± 0,01 ^{c,d}	0,42 ± 0,01 ^{fg}	0,80 ± 0,00	0,86 ± 0,05
3	48	24	120	0,27 ± 0,00 ⁱ	0,29 ± 0,01 ^h	0,46 ± 0,02	0,53 ± 0,02
4	96	24	120	0,39 ± 0,03 ^{d,e}	0,28 ± 0,01 ^h	0,58 ± 0,03	0,81 ± 0,02
5	48	18	160	0,56 ± 0,02 ^a	0,59 ± 0,01 ^a	0,57 ± 0,01	1,41 ± 0,38
6	96	18	160	0,55 ± 0,04 ^a	0,56 ± 0,03 ^{a,b}	0,61 ± 0,02	1,28 ± 0,03
7	48	24	160	0,34 ± 0,00 ^{e,fg,h}	0,32 ± 0,01 ^h	0,39 ± 0,00	0,78 ± 0,03
8	96	24	160	0,48 ± 0,02 ^b	0,42 ± 0,01 ^{fg}	0,55 ± 0,01	1,05 ± 0,08
9	32	21	140	0,31 ± 0,00 ^{h,i}	0,38 ± 0,03 ^g	0,50 ± 0,02	0,88 ± 0,05
10	112	21	140	0,38 ± 0,00 ^{d,e,f}	0,50 ± 0,02 ^{c,d}	0,54 ± 0,02	1,46 ± 0,10
11	72	16	140	0,46 ± 0,01 ^{b,c}	0,52 ± 0,02 ^{b,c,d}	0,52 ± 0,00	0,76 ± 0,03
12	72	26	140	0,33 ± 0,01 ^{fg,h}	0,41 ± 0,04 ^{fg}	0,43 ± 0,02	0,58 ± 0,13
13	72	21	106	0,41 ± 0,01 ^{c,d}	0,56 ± 0,01 ^{a,b,c}	0,52 ± 0,00	0,64 ± 0,04
14	72	21	174	0,37 ± 0,02 ^{d,e,fg}	0,52 ± 0,02 ^{b,c,d}	0,63 ± 0,02	0,83 ± 0,06
15	72	21	140	0,32 ± 0,00 ^{gh}	0,55 ± 0,01 ^{a,b,c}	0,47 ± 0,01	0,63 ± 0,02
16	72	21	140	0,37 ± 0,02 ^{d,e,fg}	0,49 ± 0,03 ^{d,e}	0,49 ± 0,01	0,65 ± 0,01
17	72	21	140	0,39 ± 0,02 ^{d,e}	0,48 ± 0,01 ^{d,e}	0,50 ± 0,00	0,78 ± 0,01
18	72	21	140	0,38 ± 0,01 ^{d,e}	0,44 ± 0,01 ^{e,f}	0,51 ± 0,03	0,70 ± 0,03
19	72	21	140	0,35 ± 0,01 ^{e,fg,h}	0,41 ± 0,02 ^{fg}	0,55 ± 0,01	0,67 ± 0,03

X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C);

* Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Tabela 43. Modelo de regressão e coeficiente de determinação (R^2) para acidez álcool-solúvel

RESPOSTA	MODELO *	R^2
Acidez - t_2 (4 meses) ^B	$y_i = 0,5033 + 0,0591x_1 - 0,0389x_2 + 0,0062x_3 + 0,0095x_1^2 + 0,0064x_2^2 + 0,0289x_3^2 - 0,0225x_1x_2 - 0,0425x_1x_3 - 0,0125x_2x_3$	64,49%
Acidez - t_3 (6 meses) ^A	$y_i = 0,7031 + 0,1337x_1 + 0,1618x_3 + 0,1735x_1^2$	70,40%

y_i = função resposta genérica; X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C)

*= $p \leq 0,05$ (nível de probabilidade pelo Teste F); ^A Modelo ajustado; ^B Modelo completo (negrito= $p \leq 0,05$)

A acidez álcool-solúvel nos tempos 0 e 1 (zero e dois meses de armazenamento) não foi significativa ao nível de 5%, indicando que os dados experimentais não se ajustaram ao modelo preditivo. Realizou-se então, o teste de Tukey para comparação de médias, como pode ser observado nos Anexos 10E e 10F. Verificou-se que no tempo zero de armazenamento as repetições no ponto central não sofreram grandes alterações, indicando a precisão dos resultados. Contudo, no tempo um, embora o ensaio 15 tenha diferido significativamente dos ensaios 16 a 19, o coeficiente de variação foi baixo (3,9%).

Para a acidez álcool-solúvel, nos tempos 2 e 3 (quatro e seis meses de armazenamento), o R^2 do modelo preditivo mostra que 64,49 e 87,50%, respectivamente, das respostas foram explicáveis pelo modelo completo (Anexos 10G e 10H, respectivamente), o C.V.(%) situou-se na faixa de 15 a 20% e apresentou falta de ajuste significativa. Realizou-se a ANOVA modificada que confirmou somente os efeitos lineares do tempo 3, mas como o quadrado médio do erro experimental foi pequeno, considerou-se a falta de ajuste aparente. No modelo ajustado o R^2 foi reduzido para 30,08 e 70,40%, respectivamente, enquanto que o C.V.(%) pouco se alterou, portanto para o tempo 2 foi usado o modelo completo. O tempo de germinação do trigo e a temperatura foram as variáveis que mais afetaram esta resposta.

As médias dos dados experimentais do teor de hexanal são mostradas na Tabela 44, a análise estatística resumida para os 3 tempos de armazenamento nos Anexos 10I-10N e os modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2) na Tabela 45.

Tabela 44. Médias dos dados experimentais de hexanal durante o armazenamento das FIETG

ENSAIO	VAR. INDEPENDENTES			RESPOSTA: HEXANAL		
	X_1	X_2	X_3	t_0 (0 meses)	t_1 (3 meses)	t_2 (6 meses)
1	48	18	120	$1,26 \pm 0,09$	$2,21 \pm 0,14$	$1,81 \pm 0,01$
2	96	18	120	$1,62 \pm 0,05$	$1,62 \pm 0,03$	$1,51 \pm 0,03$
3	48	24	120	$2,79 \pm 0,22$	$11,37 \pm 0,59$	$9,54 \pm 0,52$
4	96	24	120	$3,22 \pm 0,16$	$3,05 \pm 0,12$	$2,22 \pm 0,14$
5	48	18	160	$1,16 \pm 0,05$	$3,17 \pm 0,73$	$1,00 \pm 0,12$
6	96	18	160	$1,79 \pm 0,12$	$1,77 \pm 0,19$	$1,45 \pm 0,04$
7	48	24	160	$2,62 \pm 0,34$	$3,81 \pm 1,38$	$2,35 \pm 0,08$
8	96	24	160	$2,90 \pm 0,23$	$3,01 \pm 0,46$	$2,11 \pm 0,03$
9	32	21	140	$1,58 \pm 0,04$	$2,02 \pm 0,66$	$1,44 \pm 0,07$
10	112	21	140	$3,08 \pm 0,24$	$2,33 \pm 0,06$	$2,17 \pm 0,05$
11	72	16	140	$1,15 \pm 0,14$	$1,17 \pm 0,18$	$1,06 \pm 0,13$
12	72	26	140	$3,45 \pm 0,05$	$3,27 \pm 0,68$	$2,56 \pm 0,27$
13	72	21	106	$2,72 \pm 0,02$	$4,61 \pm 0,49$	$3,98 \pm 0,30$
14	72	21	174	$1,67 \pm 0,01$	$1,66 \pm 0,07$	$1,60 \pm 0,04$
15	72	21	140	$1,63 \pm 0,05$	$1,51 \pm 0,02$	$1,40 \pm 0,25$
16	72	21	140	$2,07 \pm 0,09$	$1,88 \pm 0,25$	$1,53 \pm 0,08$
17	72	21	140	$2,11 \pm 0,06$	$2,10 \pm 0,08$	$1,67 \pm 0,17$
18	72	21	140	$2,20 \pm 0,12$	$1,93 \pm 0,07$	$1,54 \pm 0,19$
19	72	21	140	$2,10 \pm 0,01$	$2,14 \pm 0,12$	$1,61 \pm 0,04$

x_1 = tempo de germinação (h); x_2 = umidade da farinha (%) e x_3 = temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$)

Tabela 45. Modelo de regressão ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para hexanal

RESPOSTA	MODELO AJUSTADO*	R^2
Hexanal - t_0 (0 meses) ^A	$y_i = 2,1642 + 0,3092x_1 + 0,7006x_2$	86,72%
Hexanal - t_1 (3 meses) ^B	$y_i = 1,8655 - 0,7753x_1 + 1,1716x_2 - 0,8385x_3 + 0,3498x_1^2 + 0,3657x_2^2 + 0,6891x_3^2 - 0,8913x_1x_2 + 0,8388x_1x_3 - 1,0888x_2x_3$	73,59%
Hexanal - t_2 (6 meses) ^B	$y_i = 1,5277 - 0,4526x_1 + 0,9498x_2 - 0,8913x_3 + 0,2134x_1^2 + 0,2152x_2^2 + 0,5616x_3^2 - 0,9638x_1x_2 + 0,9788x_1x_3 - 0,8038x_2x_3$	79,39%

y_i = função resposta genérica; X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C)
 *= $p \leq 0,05$ (nível de probabilidade pelo Teste F); ^A Modelo ajustado; ^B Modelo completo (negrito= $p \leq 0,05$)

A análise de variância para o *teor de hexanal* nos tempos 0, 1 e 2 (zero, 3 e 6 meses de armazenamento) mostrou que o modelo de regressão completo apresentou: R^2 de 92,68, 73,59 e 79,39%, respectivamente; C.V.(%) de 12,67, 56,48 e 54,14%, respectivamente; o tempo zero não apresentou falta de ajuste e nos tempos 1 e 2 a falta de ajuste foi significativa (Anexos 10I, 10J e 10M). Realizou-se ANOVA modificada que não foi confirmatória, porém, devido o quadrado médio do erro experimental ter sido pequeno, os modelos foram ajustados. Os altos C.V. dos tempos 1 e 2, foram consequência da grande amplitude de variação dos resultados dos 14 ensaios (C.V. de 67,43 e 70,03%, respectivamente), uma vez que as 5 repetições no ponto central (ensaios 15-19) apresentaram baixo C.V., 13,08 e 6,53%, respectivamente (Anexos 10L e 10N), indicando a precisão dos resultados.

No *tempo zero*, os efeitos lineares do tempo de germinação do trigo e da umidade da farinha foram os mais importantes para o teor de hexanal (Tabela 45), como pode ser observado pelo R^2 do modelo matemático preditivo ajustado que explica 86,72% das respostas, com C.V de 12,79%.

Os modelos ajustados para o *tempo um e dois* do teor de hexanal apresentaram R^2 muito baixo (20,86 e 36,09%, respectivamente) e C.V.(%) altíssimo devido a grande variação dos resultados entre os 14 ensaios. Por isso, foram empregados os modelos matemáticos completos para explicar estas respostas. O efeito linear da umidade da farinha foi o que apresentou maior influência sobre o tempo de armazenamento de 3 meses, enquanto para 6 meses, acrescentou-se a este o efeito linear da temperatura de extrusão.

4.6.2. pH

A partir do modelo ajustado do pH das FIETG armazenadas por zero, 2, 4 e 6 meses (Tabela 41), foram traçados gráficos de superfície que mostram a variação desta resposta em função do conteúdo de umidade e da temperatura de extrusão, com o tempo de germinação do trigo fixado no ponto central do delineamento (72h), conforme Figura 39.

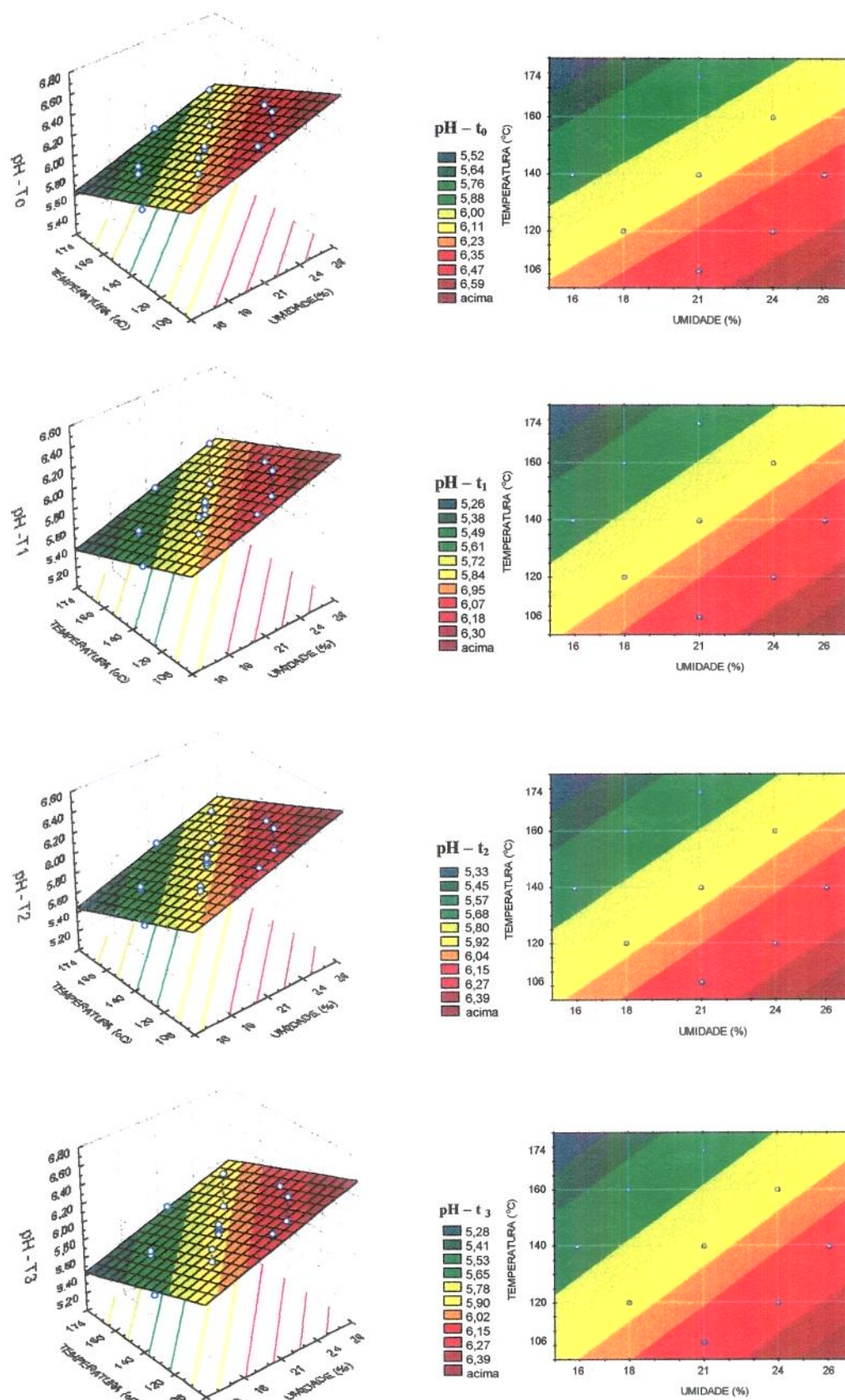


Figura 39. Efeito da temperatura de extrusão e da umidade no pH das FIETG (pH - t_0 , t_1 , t_2 e t_3 = zero, dois, quatro e seis meses de armazenamento, respectivamente). Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais. Variável x_1 fixada em 0 (tempo de germinação do trigo= 72h).

Os valores médios de pH encontrados durante o armazenamento foram: 6,05; 5,78; 5,86 e 5,84, nos tempos zero; um, dois e três, respectivamente (ou 0, 2, 4 e 6 meses). Ou seja, o pH apresentou uma tendência a diminuir com o aumento do tempo de armazenamento, embora as diferenças sejam muito pequenas, o que pode ser notado pelos resultados que variaram pouco entre si (Tabela 40).

Contudo, comparando-se os valores de pH em cada tempo de armazenamento, pode-se observar que em todos eles, o ensaio 3 (FITG48, 24% de umidade e 120°C) apresentou os maiores valores de pH e o ensaio 11 (FITG72, 16% de umidade e 140°C), os menores. O que pode ser confirmado pelos gráficos de superfície, onde os maiores valores de pH foram encontrados na região de baixas temperaturas e altas umidades e os menores, em temperaturas altas e baixa umidade. O pH é, portanto, função da umidade da farinha e da temperatura de extrusão.

4.6.3. Acidez Álcool-Solúvel

Os valores de acidez podem ser usados como uma medida objetiva da sanidade e da qualidade de cereais e de produtos cereais (LANE & ERICKSON, 1988; PARKER & LANE, 1990). Os constituintes de óleos e gorduras, incluem os lipídios (triglicerídios, ceras, fosfoglicerídios, esfingolipídios, ácidos graxos livres e hidrocarbonos), certas vitaminas, esteróis, pigmentos e antioxidantes. Destes, os triacilgliceróis são a principal causa de rancidez dos lipídios e podem ser oxidados por autooxidação (rancidez oxidativa) ou hidrolisados pelas enzimas lipoxigenases (rancidez hidrolítica) (HAMILTON, 1983).

A oxidação lipídica é uma importante fonte de “flavors” e “off-flavors” em alimentos. O processamento térmico dos alimentos acelera a oxidação lipídica e aumenta o potencial para interações entre lipídios, proteínas e carboidratos e seus produtos de hidrólise. Quando os alimentos são extrusados, variáveis como força de cisalhamento e pressão, em adição ao tempo de residência no extrusor e variáveis do processo como a temperatura, também influenciam estas reações (BRUECHERT et al., 1988). A deterioração dos lipídios dos alimentos também ocorre durante o armazenamento e é uma das principais reações que levam a perda da qualidade do produto (LILLARD, 1983).

A acidez álcool-solúvel durante o armazenamento apresentou valores médios de 0,39, 0,45, 0,53 e 0,83 mL de solução N% v/p, nos tempos zero; um, dois e três, respectivamente (ou 0, 2, 4 e 6 meses). Ou seja, a acidez álcool-solúvel aumentou proporcionalmente ao tempo de armazenamento (Anexos 10E-10H).

No *tempo zero*, verificou-se pelos resultados da comparação de médias pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$), que os maiores valores de acidez álcool-solúvel foram encontrados no ensaio 5 (FITG48, 18% de umidade e 160°C) que não diferiu significativamente do ensaio 6 (FITG96, 18% de umidade e 160°C), correspondendo a baixa umidade e alta temperatura. No *tempo um* (2 meses de armazenamento) também o ensaio 5 foi o que apresentou o maior valor, seguido pelos ensaios 6, 13 e 15 (Tabela 42). Ou seja, quando as condições de extrusão foram mais drásticas, a acidez das farinhas foi maior.

Os gráficos de superfície para a acidez álcool-solúvel nos tempos dois e três (4 e 6 meses de armazenamento, respectivamente), são apresentados na Figura 40 e mostram a variação da resposta em função do tempo de germinação do trigo e da temperatura de extrusão, com a umidade da farinha fixada no ponto central (21% de umidade).

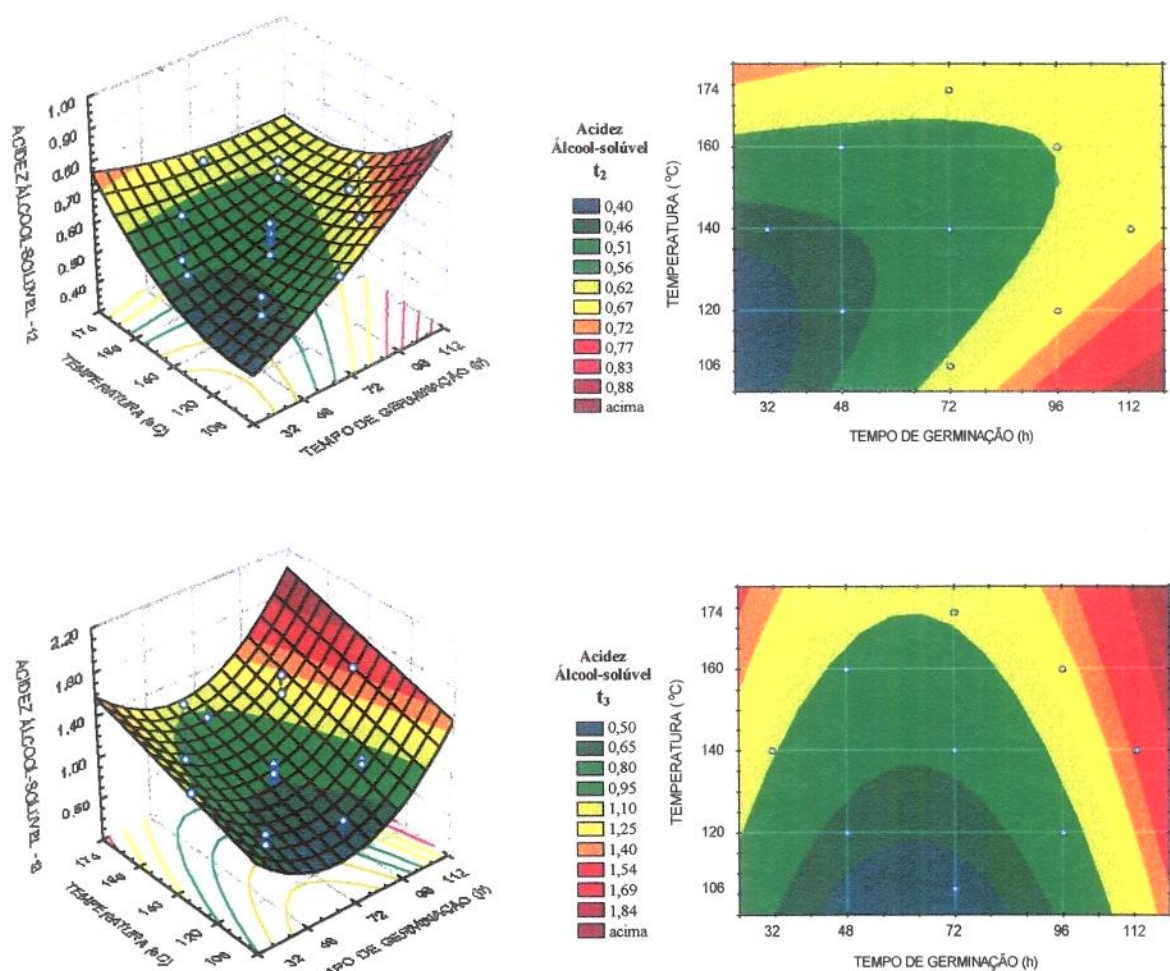


Figura 40. Efeito do tempo de germinação e da temperatura de extrusão na acidez das Fietg acidez álcool-solúvel t_2 e t_3 = quatro e seis meses de armazenamento, respectivamente. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (umidade da farinha= 21%).

Pela representação gráfica (**Figura 40**) da acidez álcool-solúvel no *tempo dois* (4 meses de armazenamento) verifica-se que os maiores valores para esta resposta estão na região com temperaturas inferiores a 120°C e farinhas com tempos de germinação superiores a 96 horas. As FIETG produzidas a partir de FITG48, em geral, apresentaram menor acidez no tempo dois, enquanto o ensaio 2, elaborado com FITG96 foi o que apresentou maior resposta. Portanto, a acidez aumentou proporcionalmente ao tempo de germinação.

No *tempo 3* (6 meses de armazenamento) nota-se pelos gráficos de superfície que, em tempos de germinação mais longos (>100h) e temperaturas elevadas (>140°C), ocorreu a região de maior resposta. Isto está de acordo com a FIETG do ensaio 10 (FITG112, 21% de umidade e 140°C) que apresentou a maior acidez álcool-solúvel, seguido pelos ensaios 5, 6 e 8, processados a temperaturas de 160°C e em geral, com FITG por períodos mais longos. Ou seja, a acidez no tempo dois também aumentou com o tempo de germinação do trigo.

Conclui-se que, embora a acidez álcool-solúvel tenha aumentado com o tempo de armazenamento, os resultados diminuíram muitíssimo em relação as FITG (item 4.2.6.2.), ficando bastante distantes do limite máximo de 4 mL de solução N% v/p para farinha integral indicado pela ABIA (1992). Isto pode ser devido à inativação das lipases pelo processo de extrusão e/ou a reações de produtos de oxidação dos lipídios com outros componentes presentes nas farinhas, fazendo com que estes não sejam detectados nas FIETG.

Segundo MOLTEBERG et al. (1995) a redução de ácidos graxos livres durante o processamento é, provavelmente, devido à complexação de ácidos graxos com proteínas e amido e a relativa redução de ácido linolênico durante o armazenamento e processamento, está relacionada com o aumento do conteúdo de produtos de oxidação voláteis, dos quais o hexanal é um indicador. Não havendo, no entanto, nenhuma correlação entre o desenvolvimento de produtos de oxidação voláteis e o conteúdo de ácidos graxos livres encontrado através dos processos de aquecimento.

4.6.4. Hexanal

A degradação oxidativa de ácidos graxos insaturados pode ocorrer durante o armazenamento e processamento, como indicado pelos níveis de hexanal (MOLTEBERG et al., 1995). A taxa de oxidação de lipídios dos alimentos é afetada não somente pela sua composição, mas também pelo conteúdo de umidade, condições de processamento, área superficial e outros fatores ainda não elucidados (FRITSCH & GALE, 1977).

A partir dos modelos de regressão do conteúdo de hexanal das FIETG armazenadas por zero, 3 e 6 meses (**Tabela 45**), foram traçados gráficos de superfície que mostram, para o *tempo zero*, a variação desta resposta em função do tempo de germinação e do conteúdo de umidade, com a temperatura fixada em 140°C (**Figura 41**) e para os *tempos 1 e 2* (3 e 6 meses, respectivamente) os gráficos de superfície são em função da umidade e da temperatura de extrusão, com o tempo de germinação fixado em 72h (**Figura 42**).

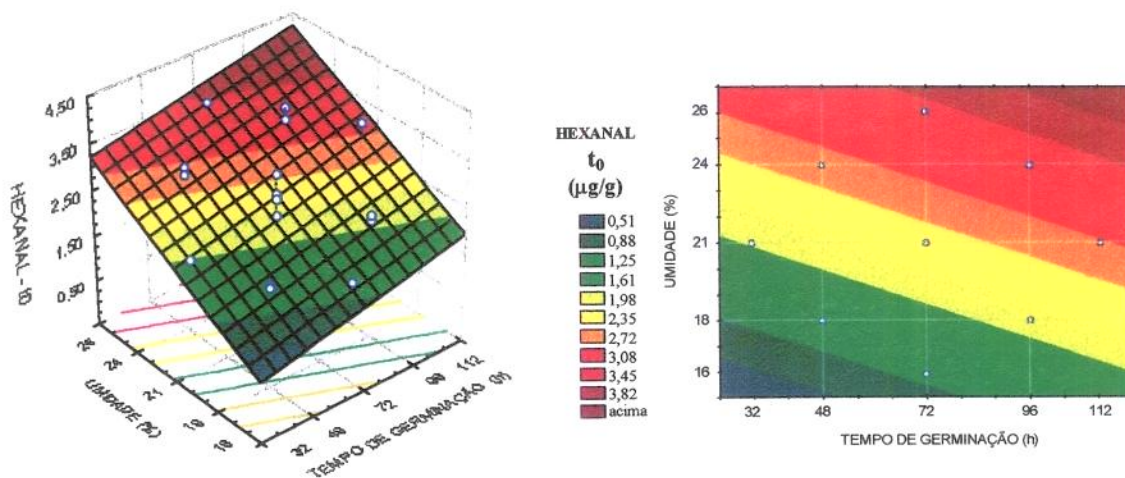


Figura 41. Efeito do tempo de germinação e da umidade no teor de hexanal das FIETG. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (temperatura de extrusão= 140°C).

Os valores médios de hexanal encontrados nas FIETG durante o armazenamento foram: 2,16, 2,88 e 2,24 $\mu\text{g/g}$ (ppm), nos tempos zero, 1 e 2 (zero, 3 e 6 meses de armazenamento, respectivamente). Ou seja, os valores aumentaram com 3 meses, voltando a diminuir com 6 meses de armazenamento (**Anexos 10I, 10J e 10M**).

No *tempo zero*, observa-se pelos gráficos de superfície (**Figura 41**) que a região de maior tempo de germinação e maior teor de umidade apresentaram os mais altos conteúdos de hexanal. O ensaio 12, com 26% de umidade teve o maior teor de hexanal e o ensaio 11, com 16% de umidade, o menor, sendo ambos processados com FITG72 e 140°C.

Nos *tempos 1 e 2*, o ensaio 3 (FITG48, 24% de umidade e 120°C) foi o que apresentou maior conteúdo de hexanal, que aumentou consideravelmente em relação ao tempo zero (408 e 342%, respectivamente) e o ensaio 11 (FITG72, 16% de umidade e 140°C) o menor, pouco se alterando em relação ao tempo zero (**Tabela 38**). Contudo, somente as FIETG do ensaio 3 nos tempos 1 e 2, apresentaram conteúdo de hexanal acima de 5 ppm, que segundo FRITSCH & GALE (1977) é o limite que indica uma deterioração considerável na qualidade devido a oxidação lipídica.

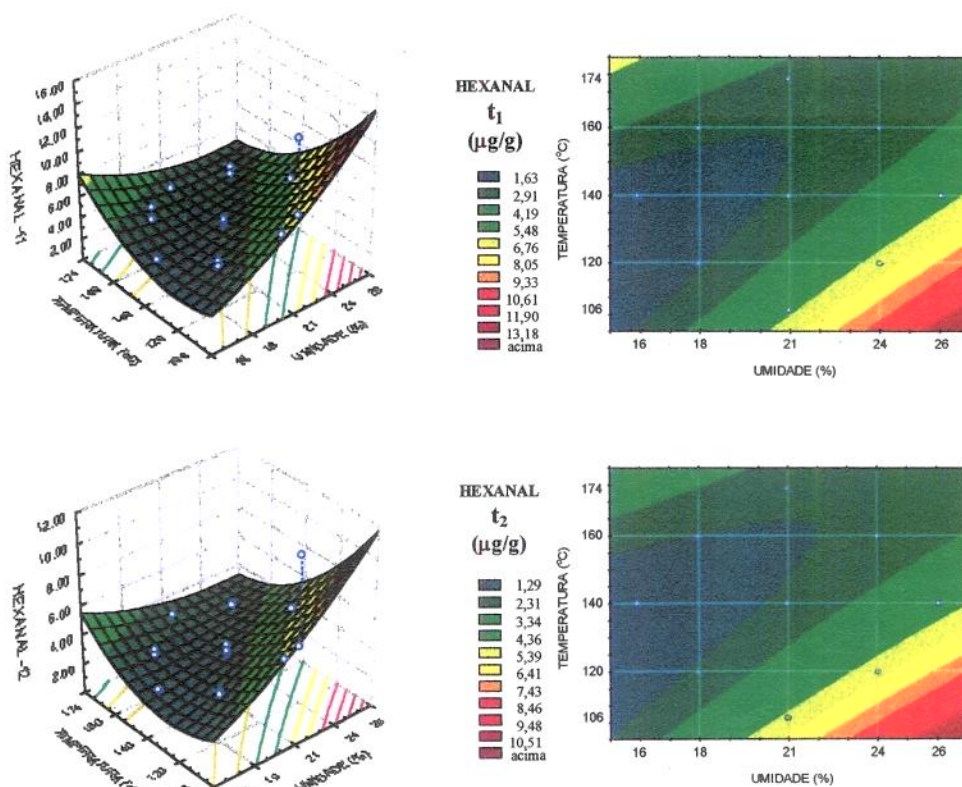


Figura 42. Efeito da umidade e da temperatura de extrusão no teor de hexanal das FIETG Hexanal t_1 e t_2 = 3 e 6 meses de armazenamento, respectivamente. Os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional são os resultados experimentais. Variável x_2 fixada em 0 (temperatura de extrusão= 140°C).

Nota-se pelos gráficos de superfície para o hexanal (**Figura 42**), que nos *tempos 1 e 2* (3 e 6 meses de armazenamento, respectivamente), teores mais elevados de hexanal foram verificados em região de alta umidade (24%) e baixa temperatura (<120°C), enquanto os menores teores foram obtidos em umidade inferior a 21% e alta temperatura (>150°C).

Como a oxidação lipídica desenvolve-se por um mecanismo de radicais livres, estes foram identificados em estágios iniciais da Reação de Maillard e os produtos desta reação aumentam na presença de lipídios aquecidos, conclui-se que os radicais livres da Reação de Maillard podem acelerar a velocidade de oxidação lipídica. É possível também, que os aldeídos produzidos pela oxidação lipídica possam formar base de Schiff que complexa com grupos amino primários das proteínas (BRUECHERT et al., 1988).

Além disso, segundo Berset (1994), produtos da degradação primária do ácido linoléico, como o hexanal, servem de intermediários para reações secundárias. Por exemplo, o 2,4-decadial interage com o hexanal ou outro aldeído, entrando na formação de compostos de ciclização que, por fragmentações sucessivas, dará origem ao benzaldeído. Da mesma maneira, a condensação de aldeídos voláteis, com as funções aminas primárias livres das proteínas, conduzirão à iminas, piridinas e pirróis.

4.7. CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, NUTRICIONAIS, TECNOLÓGICAS E DE ESTABILIDADE DAS FIETG

Para investigar se as modificações decorrentes do processo de extrusão estão relacionadas entre si e dar uma melhor visualização das interrelações das respostas avaliadas nas FIETG, foi realizada a correlação entre a maior parte dos resultados, que é mostrada na **Tabela 46**. Os números 1a 3 correspondem à composição química, 4 a 13 às características nutricionais, 14 a 26 às características tecnológicas e 27a 37 à estabilidade ao armazenamento.

Em geral, as correlações entre as características das FIETG foram bem menores que aquelas das FITG. Dentro da composição química, verificou-se somente uma correlação negativa ($r=-0,80^*$) do teor de cinzas com o teor de carboidratos das FIETG, uma vez que estes últimos são calculados por diferença.

Quanto às características nutricionais, foi verificada interrelação de açúcares redutores com açúcares totais ($r=0,79^*$) e com a densidade aparente ($r=0,46^*$). A lisina total apresentou resultados inversamente proporcionais aos de proteína das FIETG ($r=-0,68^*$) e volume específico dos extrusados ($r=-0,63^*$) e diretamente proporcional a dureza dos extrusados ($r=0,60^*$). Os PDCAAS correlacionaram-se positivamente com a dureza dos extrusados ($r\geq 0,55^*$) e o teor de lisina total ($r\geq 0,96^*$) das FIETG e negativamente com o volume específico dos extrusados, proteínas e lisina disponível das FIETG ($r\geq -0,53^*$).

Os minerais não foram apresentados na tabela, porém o índice de correlação entre magnésio e cobre foi $0,69^*$ e destes com as proteínas $0,53^*$ e $0,51^*$, respectivamente. Foi verificada correlação positiva do magnésio com o ISA ($r=0,53^*$) e com a acidez álcool-solúvel no tempo zero ($r=0,48^*$) e do cobre com a acidez álcool-solúvel no tempo um ($r=0,50^*$). Correlações negativas foram observadas do magnésio com lisina total, PDCAAS, luminosidade e viscosidade final ($r\geq -0,47^*$) e do cobre com o pH (nos 4 tempos de armazenamento, com $r\geq -0,46^*$).

Entre as características tecnológicas, a densidade aparente apresentou correlação positiva com açúcares redutores, dureza, lisina total e PDCAAS e negativa ($r=-0,57^*$) com volume específico (provavelmente porque densidade e volume específico são inversamente proporcionais).

Quanto a cor, a luminosidade apresentou correlação positiva com dureza, lisina total, PDCAAS e densidade aparente, enquanto que as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* e a diferença de cor mostraram correlação positiva com proteína e volume específico e negativa com dureza, lisina total, PDCAAS e luminosidade.

Tabela 46. Correlação (*p<0,05) entre composição química, características nutricionais, tecnológicas e de estabilidade ao armazenamento das FIETG

VARIÁVEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
1 Proteína	1,00																																					
2 Lipídios	-0,13	1,00																																				
3 Carboidratos	-0,42	-0,30*	1,00																																			
4 Açúcares redutores	-0,04	-0,15	0,17	1,00																																		
5 Açúcares totais	0,21	-0,38	0,27	0,39*	1,00																																	
6 Torque	0,04	0,09	-0,06	-0,13	0,33	0,36	-0,34	1,00																														
7 Expansão	0,20	-0,41	0,13	0,23	0,36	-0,34	1,00																															
8 Volume específico	0,15	0,03	0,03	-0,16	-0,11	-0,14	-0,18	1,00																														
9 Dureza	-0,11	-0,32	0,20	0,27	0,33	0,21	0,22	-0,88*	1,00																													
10 Língua total	-0,68*	-0,18	0,45	0,43	0,21	0,11	0,20	-0,63*	0,60*	1,00																												
11 Língua disponível	0,08	0,29	-0,41	0,54*	0,33	-0,11	0,37*	-0,46*	0,24	0,37	1,00																											
12 PDCAA81	-0,68*	-0,16	0,42	0,41	0,20	0,11	0,22	-0,64*	0,60*	0,69*	0,40	1,00																										
13 PDCAA52	-0,64*	-0,20	0,48*	0,45	0,23	-0,01	0,25	-0,62*	0,53*	0,96*	0,38	0,96*	1,00																									
14 Densidade aparente	-0,43	-0,06	0,26	0,46*	0,28	-0,10	-0,02	-0,57*	0,50*	0,71*	0,34	0,69*	0,69*	1,00																								
15 Luminosidade	-0,70*	-0,05	0,34	0,62	-0,17	0,31	-0,01	-0,63*	0,57*	0,87*	0,13	0,87*	0,81*	0,53*	1,00																							
16 Coordenada cromat. a*	0,69*	0,17	-0,41	0,02	0,16	-0,20	-0,14	0,53*	-0,52*	-0,86*	-0,09	-0,86*	-0,28*	-0,48*	-0,96*	1,00																						
17 Coordenada cromat. b*	0,51*	0,26	-0,44	0,23	0,21	-0,40	-0,04	0,34	-0,38	-0,64*	0,13	-0,53*	0,33*	-0,20	-0,84*	0,90*	1,00																					
18 Diferença de cor	0,66*	0,14	-0,39	0,06	0,19	-0,34	-0,02	0,56*	-0,53*	-0,83*	-0,05	-0,83*	-0,25*	-0,45	-0,98*	0,98*	0,93*	1,00																				
19 IAA	-0,21	-0,35	0,41	0,17	0,10	-0,70*	0,53*	0,18	-0,18	0,21	0,68	0,30	0,28	0,01	-0,16	0,03	-0,01	1,00																				
20 ISA	0,68*	0,11	-0,44	-0,31	-0,09	-0,06	-0,10	0,54*	-0,43	-0,87*	-0,33	-0,87*	-0,86*	-0,78*	-0,75*	0,70*	0,45	0,68*	1,00																			
21 Força do gel	0,16	0,06	-0,05	-0,07	0,01	-0,46	0,13	0,46*	-0,64*	-0,30	0,14	-0,28	-0,20	-0,15	-0,44	0,35	0,30	0,39	0,37	0,08	1,00																	
22 Viscosidade a 37°C	-0,16	-0,13	0,19	-0,23	-0,29	-0,43	0,50*	0,16	-0,21	0,10	0,05	0,12	0,20	0,12	0,11	-0,24	-0,14	-0,14	0,81*	-0,27	0,40	1,00																
23 Viscosidade máxima	-0,31*	-0,13	0,39	-0,30	-0,36	0,01	0,15	-0,21	0,07	0,48*	-0,08	-0,48*	0,54*	0,39	0,65*	-0,69*	-0,64*	-0,68*	0,42	-0,55*	0,05	0,78*	1,00															
24 Tempo de visc. máx.	-0,62*	0,33	0,02	0,02	-0,40	0,18	-0,45	-0,33	0,11	0,57*	0,17	0,53*	0,47*	0,63*	0,61*	-0,50*	-0,31	-0,52*	0,02	-0,70*	-0,69	0,07	0,40	1,00														
25 Viscosidade mínima	-0,42	0,32	-0,06	0,36	0,10	0,27	-0,38	-0,39	0,33	0,46*	0,30	0,45	0,55*	0,59*	0,56	-0,19	0,02	-0,23	-0,18	-0,53*	-0,29	-0,34	-0,69	0,71*	1,00													
26 Viscosidade final	-0,73*	0,02	0,32	-0,01	-0,28	0,39	-0,26	-0,49*	0,41	0,79*	0,05	0,78*	0,69*	0,57*	0,93*	-0,28*	-0,77*	-0,90*	-0,05	0,76*	-0,35	0,03	0,59*	0,51*	0,52*	1,00												
27 pH - t0	-0,56*	-0,27	0,49*	0,02	-0,06	0,09	0,23	-0,30*	0,49*	0,84*	0,12	0,64*	0,78*	0,48*	0,89*	-0,96*	-0,88*	-0,93*	0,22	-0,69*	-0,18	0,25	0,68*	0,41	0,10	0,59*	1,00											
28 pH - t1	-0,69*	-0,22	0,46*	-0,01	-0,12	0,01	0,23	-0,48*	0,34	0,82*	0,10	0,62*	0,78*	0,49*	0,88*	-0,95	-0,84*	-0,91*	0,31	-0,68*	-0,17	0,34	0,74*	0,42	0,07	0,77*	0,98*	1,00										
29 pH - t2	-0,71*	-0,16	0,41	0,07	-0,09	0,03	0,22	-0,44	0,40	0,85*	0,19	0,85*	0,78*	0,69*	0,88*	-0,95	-0,84*	-0,91*	0,36	-0,76*	-0,15	0,31	0,67*	0,48*	0,14	0,80*	0,98*	0,98*	1,00									
30 pH - t3	-0,70*	-0,21	0,44	-0,03	-0,12	0,02	0,25	-0,46*	0,41	0,87*	0,14	0,83*	0,77*	0,69*	0,87*	-0,94*	-0,84*	-0,91*	0,28	-0,68*	-0,12	0,32	0,66*	0,43	0,08	0,77*	0,98*	0,98*	0,98*	1,00								
31 acidez álcool-solúvel-t0	0,76*	-0,01	-0,38	0,04	0,27	0,24	-0,04	0,32	-0,13	-0,69*	-0,11	-0,69*	-0,71*	-0,46*	-0,70*	0,72*	-0,53*	-0,67*	-0,44	-0,78*	-0,07	-0,48*	-0,68*	-0,62*	-0,27	-0,69*	-0,71*	-0,74*	-0,72*	-0,72*	1,00							
32 acidez álcool-solúvel-t1	0,44	0,44	-0,60*	-0,10	-0,01	0,22	-0,31	0,12	-0,19	-0,51*	0,09	-0,49*	-0,54*	-0,32	-0,53*	0,62*	0,53*	0,50*	-0,61*	0,53*	0,03	-0,52*	-0,66*	-0,72	0,04	-0,46*	-0,63*	-0,65*	-0,68*	-0,58*	-0,63*	1,00						
33 acidez álcool-solúvel-t2	0,38	-0,03	-0,22	0,41	0,33	0,45	0,05	-0,05	0,24	-0,05	0,18	-0,06	-0,13	-0,18	-0,14	0,20	0,18	0,17	-0,38	0,27	-0,38*	-0,48*	-0,57*	-0,26	0,17	-0,18	-0,35	-0,41	-0,33	-0,40	0,52*	0,52	1,00					
34 acidez álcool-solúvel-t3	0,79*	-0,33	-0,14	0,17	0,34	-0,10	0,15	0,20	-0,06	-0,57*	-0,06	-0,53*	-0,46*	-0,35	-0,57*	0,64*	0,55*	0,63*	-0,13	0,53*	0,10	-0,27	-0,66*	-0,62*	-0,41	-0,71*	-0,69*	-0,63*	-0,63*	-0,61*	0,72*	0,47*	0,43	1,00				
35 hexanal - t0	-0,19	-0,38	0,38	0,49*	0,56*	-0,34	0,66*	-0,17	0,25	0,53*	0,41	0,53*	0,53*	0,41	0,22	-0,36	-0,22	-0,25	0,56*	-0,39	0,26	0,33	0,24	-0,14	-0,11	0,05	0,51*	0,52*	0,53*	0,53*	0,53*	0,53*	0,53*	0,53*	0,53*	0,53*	1,00	
36 hexanal - t1	-0,14	-0,30	0,31	-0,24	-0,17	0,21	0,19	0,04	-0,07	0,30	-0,04	0,30	0,23	0,02	0,39	-0,51*	-0,66*	-0,59*	0,26	-0,26	0,24	0,38	0,49*	0,13	-0,21	0,40	0,58*	0,57*	0,59*	0,62*	0,59*	0,61*	0,64*	0,64*	0,64*	0,64*	0,64*	1,00
37 hexanal - t2	-0,25	-0,25	0,34	-0,14	-0,13	0,27	0,17	-0,07	0,02	0,44	0,06	0,45	0,36	0,14	-0,58*	-0,58*	-0,63*	-0,58*	0,23	-0,43	0,19	0,34	0,50*	0,25	-0,02	0,51*	0,63*	0,61*	0,64*	0,64*	0,64*	0,64*	0,64*	0,64*	0,64*	0,64*	0,64*	1,00

A interrelação da luminosidade com a lisina total se deve, provavelmente à Reação de Maillard. Uma maior luminosidade (produto mais claro) é encontrada em farinhas com maior teor de lisina e uma menor luminosidade é consequência da perda de lisina pela reação de seu grupo amino livre com açúcares redutores, formando um produto final de coloração mais escura. BJÖRCK & ASP (1984) também encontraram correlação entre conteúdo de lisina e cor em produtos de trigo extrusado e afirmam que as medidas de cor não devem ser usadas para prever a perda relativa de lisina em relação à matéria-prima.

O IAA apresentou correlação positiva com a expansão dos extrusados ($r=0,53^*$) e negativa com o torque ($r=-0,70^*$), já no ISA foi verificada interrelação com proteína, volume específico, lisina disponível, coordenada de cromaticidade a^* e diferença de cor ($r\geq 0,54$).

A força do gel mostrou correlação positiva com o volume específico ($r=0,46^*$) e negativa com a dureza dos extrusados ($r=-0,64^*$), enquanto a viscosidade a 37°C apresentou correlação positiva com a expansão ($r=0,50^*$) e o IAA ($r=0,81^*$).

Quanto às características de viscosidade das FIETG, os 4 parâmetros avaliados, em geral, apresentaram correlação positiva com lisina total, PDCAAS, densidade aparente e luminosidade e correlação negativa com proteína, coordenada de cromaticidade a^* e b^* , diferença de cor e ISA.

Nas respostas de estabilidade ao armazenamento das FIETG, o pH nos 4 tempos, apresentou correlação positiva com lisina total, PDCAAS, densidade aparente, luminosidade, viscosidade máxima, viscosidade final e com os tempos anteriores de pH e correlação negativa com proteína, volume específico, coordenadas de cromaticidade a^* e b^* , diferença de cor e ISA.

Foi verificada correlação positiva da acidez álcool-solúvel nos tempos zero, um e três com as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* , diferença de cor, ISA e com a acidez álcool-solúvel nos tempos anteriores, enquanto que correlação negativa ocorreu com lisina total, PDCAAS, luminosidade, viscosidade máxima viscosidade final e pH nos 4 tempos de armazenamento das FIETG.

Para o teor de hexanal das FIETG durante os 6 meses de armazenamento foi observada a interrelação com o pH no mesmo período, e nos tempos um e dois houve uma correlação negativa com as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* e diferença de cor. O hexanal no tempo zero apresentou também diversas correlações positivas.

Estas correlações servem apenas para indicar tendências, embora algumas respostas tenham apresentado altas correlações, indicam que estas aumentaram ou diminuíram na mesma direção que as outras, sem que haja obrigatoriamente dependência entre as respostas.

5. CONCLUSÕES

5.1. O efeito do processo de germinação nas farinhas integrais de trigo germinado (FITG) foi o seguinte:

- ♦ À medida que o tempo de germinação aumentou (de zero até 112h), os teores de *proteína* e *cinzas* aumentaram significativamente, os teores de *lipídios* não se alteraram e os *carboidratos* diminuíram significativamente; contudo pelos estudos de *microscopia* não foram evidenciadas mudanças expressivas na morfologia das FITG;
- ♦ O *valor energético*, os *açúcares totais* e *redutores*, as *vitaminas B₂* e *B₆* e *fibra alimentar* das FITG aumentaram significativamente, o conteúdo de *fitato*, de *minerais* e a *composição em ácidos graxos* quase não se modificaram e a *vitamina B₁* diminuiu, em relação à farinha sem germinar;
- ♦ A *lisina* foi o primeiro *aminoácido* limitante das FITG, seguido da *treonina*, porém, com exceção destes dois, os outros aminoácidos essenciais das FITG apresentaram valores superiores aos recomendados pelo padrão da FAO, para pré-escolares de 2 a 5 anos de idade;
- ♦ Quando comparadas as FITG com a farinha controle: o *diâmetro médio das partículas* diminuiu; a *densidade aparente* não se alterou; para a *cor*, a coordenada de cromaticidade *b** (cor amarela) foi a mais representativa, aumentando seus valores proporcionalmente ao tempo de germinação do trigo; o *índice de absorção de água* diminuiu; o *índice de solubilidade em água* aumentou; os valores de *Falling Number* diminuíram e a *viscosidade máxima* diminuiu significativamente;
- ♦ O *pH* diminuiu e a *acidez álcool-solúvel* aumentou proporcionalmente aos tempos de germinação do trigo e de armazenamento das FITG. Já os teores de *hexanal* aumentaram, consideravelmente, na farinha controle e foram detectados somente na FITG112, que manteve seus teores baixos nos 6 meses de armazenamento.

5.2. O efeito das variáveis independentes no torque e nas propriedades físicas dos extrusados de farinha integral de trigo germinado (FITG) foi o seguinte:

- ♦ Os valores de *torque* foram baixos, indicando que a energia requerida para o processamento é baixa. Os menores valores foram encontrados na região de 25 a 26% de umidade e de 140 a 174°C;
- ♦ A *expansão* é função do tempo de germinação, da umidade e da temperatura. As maiores expansões foram encontradas, em geral nos extrusados produzidos com FITG por 72h ou mais, altas temperaturas (160 a 174°C) e altas umidades (24 a 26%);
- ♦ Os extrusados processados em temperaturas mais altas, quase sempre apresentaram um maior *volume específico*, enquanto os resultados de *dureza* foram inversamente proporcionais a este;
- ♦ Em resumo, a umidade das FITG e a temperatura de extrusão foram as variáveis que mais afetaram as propriedades físicas dos extrusados.

5.3. O efeito das variáveis independentes na composição centesimal e na qualidade nutricional das farinhas integrais extrusadas de trigo germinado (FIETG) foi o seguinte:

- ◆ O modelo para *cinzas* não foi significativo ao nível de 5%; o teor de *proteína* das FIETG aumentou proporcionalmente a temperatura de extrusão, os maiores teores de *lipídios* foram encontrados na região central do delineamento, com FITG72 e 21% de umidade, enquanto o menor teor de *carboidratos* foi encontrado na região de temperatura de extrusão próxima a 160°C e tempo de germinação de 72h;
- ◆ Os conteúdos de *açúcares* das FIETG aumentaram linearmente com o aumento do tempo de germinação das FITG (de 32 para 112h);
- ◆ Os valores de *cobre* e *magnésio* aumentaram proporcionalmente à temperatura de extrusão (de 106 para 174°C);
- ◆ A lisina foi o *aminoácido* limitante das FIETG, seguido pela treonina. Em baixas temperaturas de extrusão (<120°C), foram obtidas FIETG com as maiores retenções deste aminoácido;
- ◆ A *lisina disponível* aumentou com o aumento da umidade, sendo os maiores valores encontrados na região entre 20 e 24% de umidade e a *digestibilidade "in vitro"* aumentou proporcionalmente a temperatura de extrusão (de 106 para 174°C).

5.4. O efeito das variáveis independentes na qualidade tecnológica das farinhas integrais extrusadas de trigo germinado (FIETG) foi o seguinte:

- ◆ As FIETG com menor *densidade aparente* foram produzidas na região de temperatura superior a 165°C e umidade inferior a 18%, enquanto o *LAA* aumentou com o aumento da umidade de 16 para 26% e o *ISA* teve seus maiores valores em temperaturas acima de 155°C;
- ◆ Quanto aos parâmetros de *cor*, as FIETG mais claras (maior luminosidade), menos vermelhas (coordenada de cromaticidade "a"), menos amarelas (coordenada de cromaticidade "b") e com menor diferença de cor foram processadas em temperaturas menores do que 120°C e apresentaram cor mais próxima a da farinha integral de trigo controle (sem extrusar);
- ◆ Os maiores valores de *viscosidade mínima à temperatura constante (95°C)* e de *viscosidade final (50°C)* para as FIETG foram encontrados na região de temperatura inferior a 140°C e de tempo de germinação menor que 72h;
- ◆ Géis mais firmes foram produzidos de FIETG processadas em temperaturas inferiores a 120°C e com FITG com tempos de germinação menores que 48h;
- ◆ A *viscosidade a 37°C* diminuiu com o aumento do tempo de germinação (de 32 para 112h) e com a diminuição da temperatura de extrusão (de 174 para 106°C).

5.5. O efeito das variáveis independentes na estabilidade ao armazenamento das farinhas integrais extrusadas de trigo germinado (FIETG) foi o seguinte:

- ❖ Embora as diferenças sejam muito pequenas, o *pH* apresentou uma tendência em diminuir com o aumento do tempo de armazenamento da FIETG, no período de 0 a 6 meses. Os maiores valores de *pH* foram encontrados nas farinhas processadas em região de temperatura inferior a 120°C e umidade superior a 22%;
- ❖ A *acidez álcool-solúvel* aumentou proporcionalmente ao tempo de armazenamento das FIETG. Em geral, tempos de germinação mais longos (>96h) produziram farinhas com maior acidez ($\cong$ 1,46 mL de solução N%), contudo, os valores foram inferiores ao máximo recomendado pela ABIA que é 4,0 mL de solução N% para farinha integral;
- ❖ O teor de *hexanal* das FIETG aumentou com 3 meses de armazenamento, voltando a diminuir com 6 meses. Foi afetado pelo efeito linear da umidade, aumentando seus valores com o aumento desta (de 16 para 26%);
- ❖ As FIETG produzidas pelo processo de extrusão foram bastante estáveis durante os 6 meses de armazenamento à temperatura ambiente.

CONCLUSÕES GERAIS

1. Para as farinhas integrais de trigo germinado (FITG):

O processo de germinação do trigo provocou mudanças significativas na composição nutricional das farinhas integrais de trigo germinado e embora alguns desses aumentos sejam considerados aparentes, concluiu-se que as FITG possuem características nutricionais diferenciadas e qualidade melhor em relação a farinha integral de trigo controle, podendo oferecer maior qualidade nutricional e maior valor calórico.

2. Para as farinhas integrais extrusadas de trigo germinado (FIETG):

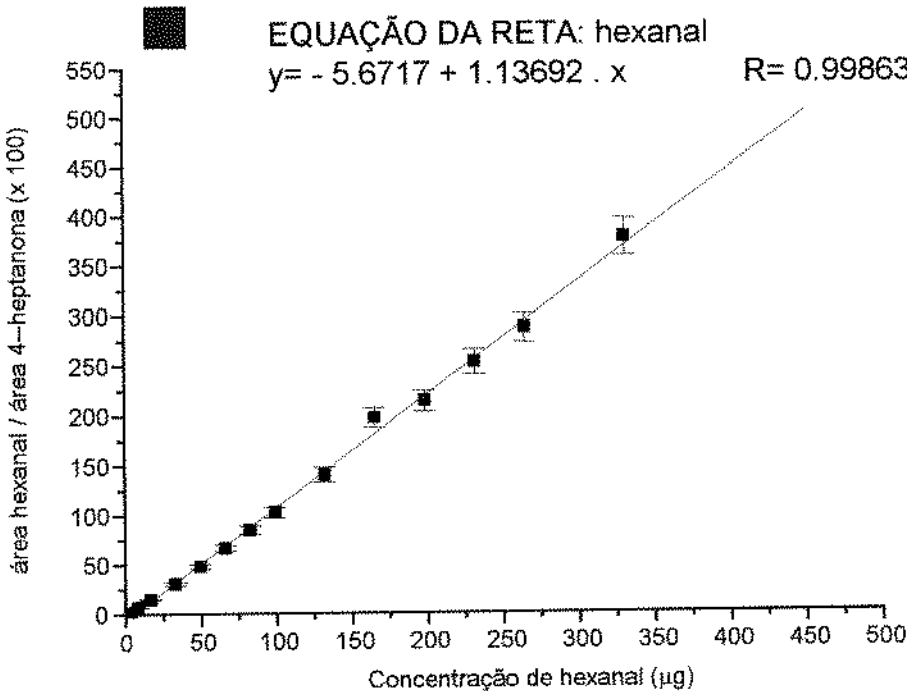
É possível obter farinhas integrais de trigo com características tecnológicas diversificadas pelos processos de germinação e extrusão (FIETG). Produtos com um mesmo valor para uma determinada resposta podem ser obtidos sem ser afetado grandemente pelo tempo de germinação do trigo e sob diferentes condições 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. Porém, as conclusões são válidas somente dentro da região experimental estudada.

ANEXOS

ANEXO 1. MÉTODOS ANALÍTICOS

Anexo 1A. Curva de calibração do hexanal

Método de padronização interna para o cálculo da composição da amostra:
Teor de hexanal em função da área do padrão de hexanal/ padrão interno (4-heptanona), obtido dos cromatogramas para determinar a equação da reta.



microgramas	área x 100	
A (X)	B(Y)	C (yEr±)
3,3026	2,4721	0,12361
8,2566	7,16541	0,35827
16,5132	15,03117	0,75156
33,0264	30,819	1,54095
49,5396	48,13089	2,40654
66,0528	66,86668	3,34333
82,566	85,23612	4,26181
99,0792	102,98379	5,14919
132,1056	140,56208	7,0281
165,132	197,61421	9,88071
198,1584	214,34466	10,71723
231,1848	253,09246	12,65462
264,2112	287,45867	14,37293
330,264	378,14971	18,90749

Linear Regression for Data1_B:
 $Y = A + B \cdot X$

Parameter	Value	Error		
A	-5.6717	2.68882		
B	1.13692	0.01722		
R	SD	N	P	
0.99863	6.43871	14	<0.0001	

ANEXO 2. EXEMPLOS DE PROGRAMAÇÃO DO SAS FOR WINDOWS

Anexo 2A. PROC ANOVA / TUKEY para os dados experimentais de açúcares de FITG.

```
data a;
title 'anova';
input amos rep ARedut Atotais;
cards;
    1      1      0.84  1.21
    1      2      0.81  1.31
    1      3      0.80  1.26
    2      1      4.45  6.02
    2      2      4.49  5.17
    2      3      4.40  5.42
    3      1      3.52  4.48
    3      2      3.53  4.20
    3      3      3.54  4.14
    4      1      3.91  5.31
    4      2      4.12  5.00
    4      3      4.12  4.60
    5      1      4.44  5.78
    5      2      4.52  6.06
    5      3      4.38  5.79
    6      1      4.24  6.66
    6      2      4.17  6.57
    6      3      4.21  6.80
;
run;
proc anova;
class amos rep;
model Aredut=amos rep;
means amos / tukey;
run;
proc anova;
class amos rep;
model Atotais=amos rep;
means amos / tukey;
run;
```

OBS:

Amostra 1: FITControle
Amostra 2: FITG32
Amostra 3: FITG48
Amostra 4: FITG72
Amostra 5: FITG96
Amostra 6: FITG112

Anexo 2B. PROC RSREG para densidade aparente de FIETG.

```
data a;
    input x1 x2 x3 y1 @@;
list;
label x1='tempo de germinação'
      x2='umidade da farinha'
      x3='temperatura de extrusão'
      y1='densidade aparente';
cards;
    -1      -1      -1      0.6850
    +1      -1      -1      0.7076
    -1      +1      -1      0.6944
    +1      +1      -1      0.6881
    -1      -1      +1      0.5952
    +1      -1      +1      0.6881
    -1      +1      +1      0.6977
    +1      +1      +1      0.6944
    -1.682   0        0      0.7213
    +1.682   0        0      0.7109
    0        -1.682   0      0.6667
    0        +1.682   0      0.7010
    0        0        -1.682  0.7109
    0        0        +1.682  0.6199
    0        0        0      0.7010
    0        0        0      0.7109
    0        0        0      0.7077
    0        0        0      0.7143
    0        0        0      0.7246
;
proc print;
proc sort;
by x1-x3;
Title 'modelo 2a ordem, var. originais, densidade aparente';
proc rsreg;
model y1=x1-x3/lackfit;
run;
```

Anexo 2C. PROC GLM para os *termos significativos* na PROC RSREG para densidade aparente de FIETG.

```
data a;
    input x1 x2 x3 y1 @@;
list;
label x1='tempo de germinação'
      x2='umidade da farinha'
      x3='temperatura de extrusão'
      y1='densapar';
cards;
    -1      -1      -1      0.6850
    +1      -1      -1      0.7076
    -1      +1      -1      0.6944
    +1      +1      -1      0.6881
    -1      -1      +1      0.5952
    +1      -1      +1      0.6881
    -1      +1      +1      0.6977
    +1      +1      +1      0.6944
    -1.682   0        0      0.7213
    +1.682   0        0      0.7109
    0        -1.682   0      0.6667
    0        +1.682   0      0.7010
    0        0        -1.682  0.7109
    0        0        +1.682  0.6199
    0        0        0      0.7010
    0        0        0      0.7109
    0        0        0      0.7077
    0        0        0      0.7143
    0        0        0      0.7246
;
proc print;
proc sort;
by x1-x3;
data a;
set a;
x1x2=x1*x2;
x1x3=x1*x3;
x2x3=x2*x3;
x1x1=x1*x1;
x2x2=x2*x2;
x3x3=x3*x3;
run;
proc glm data=a;
    model y1= x1 x2 x3 x1x2 x2x2 x2x3 x3x3;
    output out=res p=pred r=res;
proc plot data=res;
    plot res*(pred x1 x2 x3) / vpos=18 hpos=50;
proc univariate plot data=res;
    var res;
run;
```

OBS: O termo linear x_1 , foi mantido no modelo porque $x_1.x_2$ foi significativo ao nível de 5%.

ANEXO 3. TESTE PADRÃO DE GERMINAÇÃO

Anexo 3A. Ficha de teste de germinação realizado na FEAGRI-UNICAMP.

Ficha n.º _____		 LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SEMENTES-FEAGRI-UNICAMP		Ano 1996	
Espécie: <u>Triticum aestivum L.</u>		Amostra n.º: _____		Lote n.º: <u>126/95</u>	
Cultivar: <u>EMBRAPA-16</u>		Representativa de: _____		sacos (50kg) <u>200 kg</u>	
Peso da amostra: <u>400g</u> gramas <u>1</u> / <u>1</u>		Safr: <u>1995/96</u>		☐ Prévia ☐ Definitiva ☐ Tratada	

Ficha n.º _____		ESPÉCIE <u>Triticum aestivum L. (EMBRAPA-16)</u>		Analista: <u>Monika</u>			
TESTE DE GERMINAÇÃO							
Iniciado em		<u>16/04/96</u>					
Substrato		<u>R. P. (Reba Papel)</u>					
Temperatura		<u>20°C</u>					
Tratamento Especial		<u>Não 0.1%</u>		TOTAL			
Contagem		n.º de Sementes					
		100 100 100 100		100 100 100 100			
PLANTAS	NORMAIS	1ª Contagem (20/4)		— — — —			
		2ª Contagem (24/4)		<u>40+35 40+36 35+39 32+36</u>			
		Total					
	% Média				73,25%		
	ANORMAIS	1ª Contagem (20/4)		— — — —			
		2ª Contagem (24/4)		<u>— 1+0 2+4 0+1</u>		<u>— 1 6 1</u>	
		Total					
% Média				2%			
SEMENTES	DURAS OU DORMENTES	1ª Contagem (20/4)		— — — —			
		2ª Contagem (24/4)		— — — —			
		Total					
		% Média					
		MORTAS	1ª Contagem (20/4)		<u>2+1 1+1 0+1 0+1</u>		<u>3 2 1 1</u>
2ª Contagem (24/4)			<u>0+1 1+1 1+0 2+2</u>		<u>1 2 1 4</u>		
Total					<u>4 4 2 5</u>		
% Média					3,75%		
VALOR CULTURAL			OBSERVAÇÕES: <u>% Germinação = 94,5% (73,25 + 21,25)</u> <u>Nº (0.0) = Hipocotila do Sadio</u> <u>Umidade da amostra = 13,35%</u> <u>(Método: Balança I.V.)</u>		Data da Seção de Análise de Sementes _____		
$\frac{X}{100} =$							

Anexo 3B. Certificado de sementes enviado pela Embrapa-SPSB de Passo Fundo-RS.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
ENTIDADE CERTIFICADORA - Portaria Ministerial n. 253 de 14/08/82.
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO VEGETAL - DPU
CENTRO DE PROCESSAMENTO DE DADOS - CPD/SAA

CERTIFICADO DE SEMENTES Nº 082/96

Certificamos que EMBRAPA SPSB, com campo de produção no município PASSO FUNDO-RS, registrado no Ministério da Agricultura e Abastecimento e Reforma Agrária como Produtor de Sementes e Mudas sob o nº RS-84265-1 e aforço na Entidade Certificadora sob o nº 122, produz as lotes de Sementes de TRIGO, Classe BÁSICA, Semente 95/96, de acordo com o sistema de Certificação de Sementes e Mudas do Estado do Rio Grande do Sul e demais exigências legais, conforme especificação a seguir:

BOLETIM DE ANÁLISE Nº 872/96

Análise	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS				ANÁLISE DE FORÇA				VERIFICAÇÃO		EXAME DE NOCIVAS		GERMINAÇÃO %		Outras Determinações		
	Colar	Lote Nº	Represent. ml de 500g	Sementes Puras %	Método	Outras Espécies Cultivadas	Outras Sementes (Nº)	Sementes (Nº)	CULTIVARES (Nº)	Folhas Normais	Sementes	(1)	(2)	(3)			
161	EMBRAPA 16	123	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	94	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
162	EMBRAPA 16	124	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	95	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
163	EMBRAPA 16	125	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	96	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
164	EMBRAPA 16	126	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	94	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
165	EMBRAPA 16	127	114	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	95	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
166	EMBRAPA 40	098	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	97	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
167	EMBRAPA 40	099	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	98	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
168	EMBRAPA 40	100	54	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	94	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
169	EMBRAPA 40	082	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	91	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
170	EMBRAPA 40	083	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	87	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
171	EMBRAPA 40	084	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	93	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
172	EMBRAPA 40	085	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	91	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
173	EMBRAPA 40	086	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	85	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
174	EMBRAPA 40	087	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	92	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
175	EMBRAPA 40	088	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	90	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
176	EMBRAPA 40	089	150	100,0	22/00	22/00	22/00	22/00	-0-0-	-0-0-	94	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-
-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-	-0-0-

Data da Análise: 28/02/96 Data concluída análise: 12/03/96

Data da Validade Teste de Germinação: 12/03/96

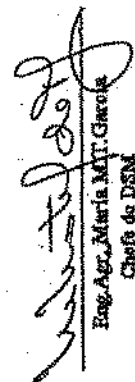
Análise de Puros em 500 g

Verificação de outras Cultivares em 1000 sementes.

Exame de sementes nocivas em 1000g

Observações:

Porto Alegre, 26 de abril de 1996.


Eng. Agr. Maria M.T. Garcia
Chefe de DSEA


Eng. Agr. Adoralvo Schio
Diretor de DPU

Anexo 3C. Boletim de análise de sementes fornecido pela FEPAGRO.



Secretaria da Ciência e Tecnologia
Rio Grande do Sul - Brasil

LABORATÓRIO OFICIAL DE ANÁLISE DE SEMENTES
Credenciado pelo MAARA pela portaria Nº 630 de 1967
Rua Gonçalves Dias, 570 - CEP 90130-060 - F. (051) 233-4411 - P. Alegre - RS

BOLETIM DE ANÁLISE DE SEMENTES
N.º 072/96

Remetente: Departamento de Sementes e Mudas-SAAB/RS
Endereço: Inspeção Regional de Passo Fundo
Termo de Tomada de Amostra nº 0831
Amostras recebidas em 16/02/96

Espécie: TRIGO (*Triticum aestivum*)
Safrá: 95/96
Classe: Básica

Data da análise: 28/02/96
Análise de pureza em 100 g
Verificação de outras cultivares em -0-
Exame de sementes nocivas em 500 g

Amostra N.º	Cultivar	Lote N.º	Represent. seca de 50 Kg	Sementes Puras %	Material Inerte %	ANÁLISE DE PUREZA		VERIFICAÇÃO DE OUTRAS CULTIVARES Sementes (N.º)	EXAME DE NOCIVAS Toluidina* Proibidas** Sementes (N.º)		GERMINAÇÃO %		Outras Determinações	
						Outras Espécies Cultivadas	Silvestres				Normais	Plantas Sementes		
161	EMBRAPA 16	123	150	100,0	zero	zero	zero	-0-	zero	zero	94		-0-	-0-
162	EMBRAPA 16	124	150	100,0	zero	zero	zero	-0-	zero	zero	93		-0-	-0-
163	EMBRAPA 16	125	150	100,0	traços	zero	zero	-0-	zero	zero	96		-0-	-0-
164	EMBRAPA 16	126	150	100,0	zero	zero	zero	-0-	zero	zero	94		-0-	-0-
165	EMBRAPA 16	127	114	100,0	zero	zero	zero	-0-	zero	zero	95		-0-	-0-
166	EMBRAPA 40	098	150	100,0	zero	zero	zero	-0-	zero	zero	97		-0-	-0-
167	EMBRAPA 40	099	150	100,0	zero	zero	zero	-0-	zero	zero	98		-0-	-0-
168	EMBRAPA 40	100	54	100,0	traços	zero	zero	-0-	zero	zero	94		-0-	-0-
169	EMBRAPA 40	082	150	100,0	traços	zero	zero	-0-	zero	zero	91		-0-	-0-
170	EMBRAPA 40	083	150	100,0	traços	zero	zero	-0-	zero	zero	87		-0-	-0-
171	EMBRAPA 40	084	150	100,0	zero	zero	zero	-0-	zero	zero	93		-0-	-0-
172	EMBRAPA 40	085	150	100,0	traços	zero	zero	-0-	zero	zero	91		-0-	-0-
173	EMBRAPA 40	086	150	100,0	traços	zero	zero	-0-	zero	zero	85		-0-	-0-
174	EMBRAPA 40	087	150	100,0	traços	zero	zero	-0-	zero	zero	92		-0-	-0-
175	EMBRAPA 40	088	150	100,0	traços	zero	zero	-0-	zero	zero	90		-0-	-0-
176	EMBRAPA 40	089	150	100,0	zero	zero	zero	-0-	zero	zero	94		-0-	-0-
-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-	-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-0-0-0-	-0-0-0-	-0-0-0-

Observações: -0-	Espago Reservado A Certificação O(s) Lote(s) N.º(s) _____ esta (estão) () dentro ou () fora dos padrões estabelecidos pela legislação em vigor. em: ____/____/____	Porto Alegre, 12 de Março de 1996. Responsável Técnico Eng. Agr. Anna Maria R. T. Fornoso CREA 8º REG: 14.969
------------------	---	--

Anexo 3D. Controle individual de lote fornecido pela Embrapa-SPSB.



EMBRAPA
SPSB

CONTROLE INDIVIDUAL DE LOTE

RECEBIMENTO

BÁSICA

LOTE

18/12/95

Cooperador

ALFREDO A. LOPEZ

Nº

1607895

Data	Nota Recebimento	SACARIA		Peso Bruto	Espécie	Cultivar
		Nova	Usada			
11/12/95	396278	GAMMA		9171	TRIGO	EMBRAPA 16

Análise N.º	Data	Umidade	Peso Específico	Germinação %	PUREZA			
					S. Pura	S. Cultivada	S. Silvestre	M. Inerte
		136	76	94	%	%	%	0,6 %

Obs.:

SECAGEM

Data	Tempo (Horas)	Temp. (°C)	Cond. Ambiental		Peso Seco Estimado	Umidade	Análise após Secagem		
			T. °C	UR %			Data	Nº	G %

LIMPEZA E CLASSIFICAÇÃO

Rendimento Semente:	100 X 50 Kg = 7500 Kg	81,77 %			
Refugo aproveitável:	= 1395 Kg	19,23 %	Peso de mil sementes:	33,8	gr
Refugo sem valor:	= 7618 Kg	9,84 %			
Quebra:	= 16710 Kg	18,23 %	Validade teste de germinação	09/96	
Obs.:	Observando em 18/12/95				

Análise N.º	Data	Umidade %	Germinação %	PUREZA				
				S. Pura %	S. Silvestres N.º	O. Espécies N.º	O. Cultivares N.º	M. Inerte %
164	12/03		94	100,0	Zero	Zero	-x-	Zero

Visto:

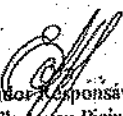
Técnico Responsável

Certificado de Garantia N.º

20296

ANEXO 4. TESTE DE SANIDADE

Anexo 4A. Boletim de análise fitopatológica de sementes fornecido pela Embrapa-CNPT.

 EMBRAPA	CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO (CNPT) BOLETIM DE ANÁLISE FITOPATOLÓGICA DE SEMENTES LABORATÓRIO DE FITOPATOLOGIA BR 285 - KM 174 - Cx.P. 569 - 99001-970 PASSO FUNDO-RS FONE: (054) 311-3444 / FAX: (054) 311-3617 e-mail: cnpt@code.embrapa.br
	REGISTRO Nº 1770 SAFRA: 95/96 CULTURA: trigo CULTIVAR: Embrapa 16 LOTE: 126/95 Nº DE SACOS: 150 DATA DE RECEBIMENTO: 09/02/96 DATA DE ANÁLISE: 11/03/96 PRODUTOR: EMBRAPA-SPSB MUNICÍPIO: Passo Fundo, RS
Certificamos que na amostra enviada ao laboratório, a avaliação dos microorganismos abaixo, revelou os seguintes índices de infecção:	
<i>Bipolaris sorokiniana</i> <i>Stagonospora nodorum</i> <i>Fusarium spp.</i> <i>Drechslera tritici-repentis</i> <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>translucens</i> <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>undulosa</i>	0.50 % 0.50 % 10.50 % 0.00 % > 10.000 UFC 0 UFC
OBSERVAÇÕES: Fungos: Avaliado pelo método do papel de filtro. Bactérias: Teste realizado em meio semi-seletivo.	
A presente análise tem valor restrito a amostra entregue ao laboratório. A identificação da amostra é de exclusiva responsabilidade do remetente.	
Passo Fundo, 03/04/96	
 Pesquisador Responsável Edson Clodoveu Pichini	

Anexo 4B. Ficha de avaliação de sanidade das sementes (CATI-SEAGESP)

SERVIÇO DE CONTROLE DE QUALIDADE	
SEÇÃO DE ANÁLISE DE SANIDADE DE SEMENTES E MUDAS	
FICHA DE AVALIAÇÃO DE SANIDADE	
Ficha nº: 463TR	Espécie: <u>Trigo</u> Cultivar: <u>Embrapa-16</u> Classe: <u>Triticum aestivum</u>
Data de análise: 23/04/96	Data de semeadura: 16/04/96 Nº de sementes: 25 x 8 = 200
Nº do lote: 126/95	Método: <u>R.A.S. (papel de filtro)</u> Analista: <u>Martha / Flávia</u>
Microrganismo	%
- <i>Alternaria tenuis</i> *	34,00
- <i>Aspergillus spp</i> *	1,00
- <i>Bipolaris sorokiniana</i>	0,00
- <i>Drechslera tritici-repentis</i>	0,00
- <i>Drechslera spp</i> *	3,50
- <i>Epicoccum</i> *	7,50
- <i>Fusarium spp</i>	0,00
- <i>Phoma</i> *	1,00
- <i>Cladosporium</i> *	2,00
- Sementes sadias	51,00
OBS: * espécies saprófitas para a cultura de trigo Foi realizada a inibição da germinação por congelamento. Incubação por 7 dias a 20±2 °C, 12h luz/12h escuro.	

ANEXO 5. ANÁLISE ESTATÍSTICA (FITG)

Anexo 5A. Análise de variância das análises de COMPOSIÇÃO CENTESIMAL das FITG (comparação de médias-Teste de Tukey)

Variável dependente: PROTEÍNA					
Média das respostas	10,80			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9923
Desvio padrão	0,05			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,4986
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	3,7185	0,5312	183,25	0,0001***
Erro	10	0,0290	0,0029		
Total corrigido	17	3,7475			
Variável dependente: CINZAS					
Média das respostas	1,48			Coefficiente de determinação (R^2)	0,8811
Desvio padrão	0,03			Coefficiente de variação (C.V.= %)	1,9235
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	0,0598	0,0085	10,59	0,0006***
Erro	10	0,0081	0,0008		
Total corrigido	17	0,068			
Variável dependente: LÍPIDIOS					
Média das respostas	2,13			Coefficiente de determinação (R^2)	0,7400
Desvio padrão	0,05			Coefficiente de variação (C.V.= %)	2,5454
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	0,0833	0,0119	4,07	0,0228*
Erro	10	0,0293	0,0029		
Total corrigido	17	0,1126			
Variável dependente: CARBOIDRATOS					
Média das respostas	85,60			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9887
Desvio padrão	0,07			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,0860
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	4,7553	0,6793	125,41	0,0001***
Erro	10	0,0542	0,0054		
Total corrigido	17	4,8095			

OBSERVAÇÕES GERAIS:

Modelo= Tratamentos;

Erro= Resíduo;

C.V.= resultados expressos em porcentagem;

G.L.= graus de liberdade;

S.Q.= soma dos quadrados;

Q.M.= quadrado médio (SQ/GL);

Prob>F= nível de significância total do modelo;

*= significativo ao nível de $p \leq 0,05$;

**= significativo ao nível de $p \leq 0,01$;

***= significativo ao nível de $p \leq 0,001$;

ns= não significativo;

DMS= diferença mínima significativa.

Anexo 5B. Análise de variância das análises realizadas para CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL das FITG (comparação de médias-Teste de Tukey)

Variável dependente: ENERGIA BRUTA					
Média das respostas	394,58			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9491
Desvio padrão	1,55			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,3933
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	224,3782	37,3964	15,53	0,0043**
Erro	5	12,0418	2,4084		
Total corrigido	11	236,4200			
Variável dependente: ENERGIA METABOLIZÁVEL					
Média das respostas	360,13			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9802
Desvio padrão	0,60			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,1657
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	176,1498	25,1643	70,69	0,0001***
Erro	10	3,5600	0,3560		
Total corrigido	17	179,7098			
Variável dependente: AÇÚCARES REDUTORES					
Média das respostas	3,58			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9986
Desvio padrão	0,06			Coefficiente de variação (C.V.= %)	1,7752
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	29,2424	4,1775	1032,61	0,0001***
Erro	10	0,0405	0,0040		
Total corrigido	17	29,2828			
Variável dependente: AÇÚCARES TOTAIS					
Média das respostas	4,77			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9892
Desvio padrão	0,24			Coefficiente de variação (C.V.= %)	5,1046
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	54,3202	7,7600	131,12	0,0001***
Erro	10	0,5918	0,0592		
Total corrigido	17	54,9120			
Variável dependente: FIBRA ALIMENTAR					
Média das respostas	10,151			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9181
Desvio padrão	0,269			Coefficiente de variação (C.V.= %)	2,6496
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	4,0562	0,6760	9,35	0,0134*
Erro	5	0,3617	0,0723		
Total corrigido	11	4,4178			
Variável dependente: FITATO					
Média das respostas	0,82			Coefficiente de determinação (R^2)	0,8545
Desvio padrão	0,04			Coefficiente de variação (C.V.= %)	4,6599
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	0,0433	0,0072	4,89	0,0511ns
Erro	5	0,0074	0,0015		
Total corrigido	11	0,0507			
Variável dependente: VITAMINA B₁					
Média das respostas	0,138			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9620
Desvio padrão	0,005			Coefficiente de variação (C.V.= %)	3,7359
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	0,003354	0,000559	21,11	0,0021**
Erro	5	0,000132	0,000026		
Total corrigido	11	0,003486			
Variável dependente: VITAMINA B₂					
Média das respostas	0,157			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9674
Desvio padrão	0,009			Coefficiente de variação (C.V.= %)	5,7325
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	0,012045	0,002008	24,78	0,0014**
Erro	5	0,000405	0,000081		
Total corrigido	11	0,012450			
Variável dependente: VITAMINA B₆					
Média das respostas	0,057			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9270
Desvio padrão	0,005			Coefficiente de variação (C.V.= %)	8,4169
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	0,001458	0,000243	10,59	0,0102*
Erro	5	0,000115	0,000023		
Total corrigido	11	0,001573			
Variável dependente: LISINA DISPONÍVEL					
Média das respostas	3,66			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9958
Desvio padrão	0,07			Coefficiente de variação (C.V.= %)	2,1489
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	7,4225	1,2371	199,91	0,0001***
Erro	5	0,0309	0,0062		
Total corrigido	11	7,4535			

Anexo 5C. Análise de variância das análises de CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA das FITG (comparação de médias-Teste de Tukey)

Variável dependente: FALLING NUMBER					
Média das respostas	125			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9998
Desvio padrão	3			Coefficiente de variação (C.V.= %)	2,5386
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	238780,50	39796,75	3946,79	0,0001***
Erro	5	50,41	10,08		
Total corrigido	11	238830,92			
Variável dependente: DENSIDADE APARENTE					
Média das respostas	0,69			Coefficiente de determinação (R^2)	0,8738
Desvio padrão	0,01			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,9371
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	0,002912	0,000416	9,89	0,0009***
Erro	10	0,000421	0,000042		
Total corrigido	17	0,003333			
Variável dependente: COR – luminosidade (L^*)					
Média das respostas	81,01			Coefficiente de determinação (R^2)	0,7815
Desvio padrão	1,59			Coefficiente de variação (C.V.= %)	1,9660
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	90,7405	12,9629	5,11	0,0106*
Erro	10	25,3674	2,5367		
Total corrigido	17	116,1080			
Variável dependente: COR – coordenada de cromaticidade a^*					
Média das respostas	2,71			Coefficiente de determinação (R^2)	0,7318
Desvio padrão	0,63			Coefficiente de variação (C.V.= %)	23,1640
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	10,7566	1,5367	3,90	0,0261*
Erro	10	3,9423	0,3942		
Total corrigido	17	14,6989			
Variável dependente: COR – coordenada de cromaticidade b^*					
Média das respostas	15,18			Coefficiente de determinação (R^2)	0,8936
Desvio padrão	0,84			Coefficiente de variação (C.V.= %)	5,5612
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	59,8000	8,5429	11,99	0,0004***
Erro	10	7,1225	0,7122		
Total corrigido	17	66,9224			
Variável dependente: COR – diferença de cor (ΔE^*)					
Média das respostas	4,54			Coefficiente de determinação (R^2)	0,7449
Desvio padrão	1,29			Coefficiente de variação (C.V.= %)	28,4605
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	39,0038	6,5006	3,89	0,0404*
Erro	8	13,3603	1,6700		
Total corrigido	14	52,3641			
Variável dependente: ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA)					
Média das respostas	2,05			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9681
Desvio padrão	0,02			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,8825
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	0,0995	0,0142	43,31	0,0001***
Erro	10	0,0033	0,0003		
Total corrigido	17	0,1027			
Variável dependente: ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)					
Média das respostas	24,30			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9993
Desvio padrão	0,29			Coefficiente de variação (C.V.= %)	1,1833
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	7	1117,3053	159,6150	1929,96	0,0001***
Erro	10	0,8270	0,0827		
Total corrigido	17	1118,1323			
Variável dependente: VISCOSIDADE MÁXIMA					
Média das respostas	307,00			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9958
Desvio padrão	52,45			Coefficiente de variação (C.V.= %)	17,0847
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	3244397,00	540732,83	196,56	0,0001***
Erro	5	13755,00	2751,00		
Total corrigido	11	3258152,00			
Variável dependente: TEMPO DE VISCOSIDADE MÁXIMA					
Média das respostas	2,27			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9998
Desvio padrão	0,06			Coefficiente de variação (C.V.= %)	2,6139
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	71,9808	11,9968	3400,13	0,0001***
Erro	5	0,0176	0,0035		
Total corrigido	11	71,9984			

Anexo 5D. Análise de variância das análises de ESTABILIDADE AO ARMAZENAMENTO das FITG (colunas - letras minúsculas, comparação de médias-Teste de Tukey)

Variável dependente: ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_0					
Média das respostas	1,50			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9991
Desvio padrão	0,01			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,8873
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	0,963237	0,160539	903,56	0,0001***
Erro	5	0,000888	0,000178		
Total corrigido	11	0,964125			
Variável dependente: ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_1					
Média das respostas	2,84			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9976
Desvio padrão	0,05			Coefficiente de variação (C.V.= %)	1,8512
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	5,816568	0,969428	350,65	0,0001***
Erro	5	0,013823	0,002765		
Total corrigido	11	5,830391			
Variável dependente: ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_2					
Média das respostas	3,61			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9993
Desvio padrão	0,03			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,9454
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	8,505886	1,417648	1217,89	0,0001***
Erro	5	0,005820	0,001164		
Total corrigido	11	8,511706			
Variável dependente: ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_3					
Média das respostas	4,96			Coefficiente de determinação (R^2)	1,00
Desvio padrão	0,00			Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,00
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	16,706184	2,784364	99999,99	0,0001***
Erro	5	0,000000	0,000000		
Total corrigido	11	16,706184			
Variável dependente: HEXANAL – t_0					
Média das respostas	0,21			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9951
Desvio padrão	0,03			Coefficiente de variação (C.V.= %)	15,4299
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	1,110698	0,185116	169,97	0,0001***
Erro	5	0,005446	0,001089		
Total corrigido	11	1,116144			
Variável dependente: HEXANAL – t_1					
Média das respostas	0,59			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9029
Desvio padrão	0,52			Coefficiente de variação (C.V.= %)	88,9536
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	12,691373	2,115229	7,75	0,0200*
Erro	5	1,364676	0,272935		
Total corrigido	11	14,056049			
Variável dependente: HEXANAL – t_2					
Média das respostas	1,09			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9939
Desvio padrão	0,26			Coefficiente de variação (C.V.= %)	23,8240
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	6	54,698244	9,116374	135,95	0,0001***
Erro	5	0,335289	0,067058		
Total corrigido	11	55,033533			

Anexo 5E. Análise de variância das análises de ESTABILIDADE AO ARMAZENAMENTO das FITG: *acidez álcool-solúvel* (linhas – letras maiúsculas, comparação de médias-Teste de Tukey)

Variável dependente: CONTROLE					
Média das respostas	2,72	DMS=0,09	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9998	
Desvio padrão	0,02		Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,6946	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	4	8,295168	2,773792	5824,96	0,0001***
Erro	3	0,001068	0,000356		
Total corrigido	7	8,296236			
Variável dependente: FITG32					
Média das respostas	3,29	DMS=0,06	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9999	
Desvio padrão	0,01		Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,3980	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	4	17,593509	4,398377	25699,21	0,0001***
Erro	3	0,000513	0,000171		
Total corrigido	7	17,594022			
Variável dependente: FITG48					
Média das respostas	3,61	DMS=0,178	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9993	
Desvio padrão	0,03		Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,9454	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	4	3,200694	0,800173	585,33	0,0001***
Erro	3	0,004101	0,001367		
Total corrigido	7	3,204795			
Variável dependente: FITG72					
Média das respostas	3,24	DMS=0,06	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9999	
Desvio padrão	0,01		Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,3806	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	4	22,091050	5,52276254	36330,38	0,0001***
Erro	3	0,000456	0,00015201		
Total corrigido	7	22,091506			
Variável dependente: FITG96					
Média das respostas	3,89	DMS=0,14	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9998	
Desvio padrão	0,03		Coefficiente de variação (C.V.= %)	0,7308	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	4	13,347496	3,336874	4134,38	0,0001***
Erro	3	0,002421	0,000807		
Total corrigido	7	13,349917			
Variável dependente: FITG112					
Média das respostas	4,15	DMS=0,43	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9988	
Desvio padrão	0,09		Coefficiente de variação (C.V.= %)	2,1370	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	4	19,793055	4,948264	630,36	0,0001***
Erro	3	0,023550	0,007850		
Total corrigido	7	19,816605			

DMS= diferença mínima significativa

Anexo 5F. Análise de variância das análises de ESTABILIDADE AO ARMAZENAMENTO das FITG: *hexanal* (linhas – letras maiúsculas, comparação de médias-Teste de Tukey)

Variável dependente: CONTROLE					
Média das respostas	3,10	DMS=3,57	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9743	
Desvio padrão	0,61		Coefficiente de variação (C.V.= %)	19,5546	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	3	27,889464	9,296488	25,29	0,0383*
Erro	2	0,735175	0,367588		
Total corrigido	5	28,624639			
Variável dependente: FITG112					
Média das respostas	0,68	DMS=0,08	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9854	
Desvio padrão	0,01		Coefficiente de variação (C.V.= %)	2,1201	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	3	0,027626	0,009209	44,86	0,0219
Erro	2	0,000411	0,000205		
Total corrigido	5	0,028037			

ANEXO 6. ANÁLISE ESTATÍSTICA (TORQUE E EXTRUSADOS)

Anexo 6A. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para os resultados experimentais de TORQUE

$Y_i = 1910,05 + 37,47x_1 - 307,99x_2 - 220,36x_3 - 71,48x_1^2 + 69,90x_2^2 + 273,15x_3^2 - 340,00x_1x_2 + 40,00x_1x_3 - 122,50x_2x_3$ (0,0977) (0,1043) (0,0001) (0,0000) (0,3581) (0,0000) (0,0003) (0,0001) (0,4491) (0,0384)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	2105,26	Coeficiente de determinação (R^2)			0,9586
Desvio padrão	142,98	Coeficiente de variação (C.V.= %)			6,7917
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	1977978	0,4455	32,250	0,0000*
Quadrática	3	12220248	0,2748	19,896	0,0003*
Interação	3	1057650	0,2382	17,245	0,0005*
Total da regressão	9	4255877	0,9586	23,130	0,0000*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	180477	36095	41,018	0,016*
Erro puro	4	3520	880		
Total do erro	9	183997	20444		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)
Linear	1977978	3	659326	18,266408*	5,41
Quadrática	1220248	3	406749,33	11,268855*	5,41
Interação	1057650	3	352550	9,767281*	5,41
Total da regressão	4255877	9	472875,22	13,100851*	4,77
Falta de ajuste	180477	5	36095	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	2105,26	Coeficiente de determinação (R^2)			0,9196
Desvio padrão	172,44	Coeficiente de variação (C.V.= %)			8,1907
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	6	4083061,8	680510,3	22,89	0,0001*
Erro	12	356811,9	29734,3		
Total corrigido	18	4439873,7			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	1908,77		51,46		0,0001*
X ₁	37,47		46,66		0,4375
X ₂	-307,99		46,66		0,0001*
X ₃	-220,36		46,66		0,0005*
X ₃ X ₃	273,35		45,78		0,0001*
X ₁ X ₂	-340,00		60,97		0,0001*
X ₂ X ₃	-122,50		60,97		0,0675

OBSERVAÇÕES GERAIS:

¹ Modelo de regressão completo sem ajuste, com variáveis e valores codificados (nível de significância embaixo entre parênteses); **negrito**= significativo ao nível de 5% de probabilidade;

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C);

R² = coeficiente de determinação; C.V. = coeficiente de variação;

Prob>F= nível de significância total da regressão /ou do resíduo;

Falta de ajuste= Prob>F do resíduo, *= significativo ao nível de p≤0,05; ns= não significativo;

G.L.= graus de liberdade; S.Q.= soma dos quadrados;

Q.M.= quadrado médio (SQ/GL); F_{calculado}= QM_{regressão}/QM_{falta de ajuste};

Prob>|T|= nível de significância pelo Teste t

Anexo 6B. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de EXPANSÃO dos extrusados

$y_i = 1,1075 + 0,0570x_1 + 0,1506x_2 + 0,0729x_3 + 0,0404x_1^2 + 0,0351x_2^2 + 0,0686x_3^2 - 0,0350x_1x_2 - 0,0125x_1x_3 + 0,0050x_2x_3$ (0,0000) (0,0280) (0,0001) (0,0086) (0,0970) (0,1421) (0,0117) (0,2501) (0,6710) (0,8645)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	1,21	Coeficiente de determinação (R^2)			0,8993
Desvio padrão	0,08	Coeficiente de variação (C.V.= %)			6,6496
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,426524	0,7359	21,923	0,0002*
Quadrática	3	0,083439	0,1440	4,289	0,0388*
Interação	3	0,011250	0,0194	0,578	0,6438
Total da regressão	9	0,521212	0,8993	8,930	0,0016*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,052567	0,0105	7,251	0,0390*
Erro puro	4	0,005800	0,0015		
Total do erro	9	0,058367	0,0065		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	$F_{calculado}$	$F_{tabelado} (p \leq 0,05)$
Linear	0,426524	3	0,1421746	13,523694*	5,41
Quadrática	0,083439	3	0,027813	2,6455816 ^{ns}	5,41
Interação	0,011250	3	0,00375	0,3567012 ^{ns}	5,41
Total da regressão	0,521212	9	0,0579124	5,508646*	4,77
Falta de ajuste	0,052567	5	0,010513	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	1,21	Coeficiente de determinação (R^2)			0,8211
Desvio padrão	0,09	Coeficiente de variação (C.V.= %)			7,1067
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	4	0,4759	0,1190	16,06	0,0001*
Erro	14	0,1037	0,0074		
Total corrigido	18	0,5796			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	1,1687		0,0257		0,0001*
x_1	0,0570		0,0233		0,0282*
x_2	0,1506		0,0233		0,0001*
x_3	0,0729		0,0233		0,0074*
x_1x_3	0,0590		0,0228		0,0218*

Anexo 6C. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de VOLUME ESPECÍFICO dos extrusados

$y_i = 1,7139 - 0,0992x_1 - 0,0342x_2 + 0,1168x_3 - 0,0220x_1^2 + 0,1565x_2^2 - 0,0697x_3^2 + 0,2063x_1x_2 - 0,1988x_1x_3 - 0,3213x_2x_3$ (0,0000) (0,2206) (0,6609) (0,1558) (0,7772) (0,0677) (0,3794) (0,0658) (0,0744) (0,0098)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG -SAS)					
Média das respostas	1,76			Coefficiente de determinação (R ²)	0,7661
Desvio padrão	0,28			Coefficiente de variação (C.V.= %)	15,8271
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,336782	0,1127	1,446	0,2931
Quadrática	3	0,470012	0,1573	2,018	0,1820
Interação	3	1,481937	0,4960	6,362	0,0133*
Total da regressão	9	2,288731	0,7661	3,275	0,0460*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,616484	0,123297	5,994	0,0537(OK)
Erro puro	4	0,082280	0,020570		
Total do erro	9	0,698764	0,077640		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	1,76			Coefficiente de determinação (R ²)	0,3441
Desvio padrão	0,36			Coefficiente de variação (C.V.= %)	20,5305
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	3	1,0279	0,3426	2,62	0,0888 ^{ns}
Erro	15	1,9596	0,1306		
Total corrigido	18	2,9875			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	1,7605		0,0829		0,0001*
X ₂	-0,0342		0,0978		0,7315
X ₃	0,1168		0,0978		0,2510
X ₂ X ₃	-0,3213		0,1278		0,0238*

Anexo 6D. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e ANOVA modificada para as médias experimentais de DUREZA dos extrusados

$y_i = 8,3503 + 1,4286x_1 + 0,1132x_2 - 1,4273x_3 + 0,6804x_1^2 - 0,2687x_2^2 - 0,6503x_3^2 - 1,0488x_1x_2 + 0,7038x_1x_3 + 2,1463x_2x_3$ (0,0000) (0,0627) (0,8701) (0,0629) (0,3384) (0,6990) (0,3591) (0,2634) (0,4440) (0,0373)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG -SAS)					
Média das respostas	9,11			Coefficiente de determinação (R ²)	0,6810
Desvio padrão	2,49			Coefficiente de variação (C.V.= %)	27,2842
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	55,875314	0,3203	3,012	0,0870
Quadrática	3	13,284714	0,0762	0,716	0,5668
Interação	3	49,612238	0,2844	2,675	0,1104
Total da regressão	9	118,772266	0,6810	2,134	0,1370
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	52,881656	10,576331	15,290	0,0103*
Erro puro	4	2,766920	0,691730		
Total do erro	9	55,648576	6,183175		
ANOVA MODIFICADA					
Não significativa ao nível de 5% de probabilidade					

Anexo 6E. Análise de variância da análise de DUREZA dos extrusados (comparação de médias-Teste de Tukey)

Variável dependente: DUREZA					
Média das respostas	9,11	DMS= 1,85	Coefficiente de determinação (R ²)	0,8947	
Desvio padrão	1,43		Coefficiente de variação (C.V.= %)	15,6697	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	32	4368,6590	136,5206	66,92	0,0001***
Erro	252	514,0577	2,0399		
Total corrigido	289	4882,7167			

ANEXO 7. ANÁLISE ESTATÍSTICA (COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E QUALIDADE NUTRICIONAL DAS FIETG)

Anexo 7A. Análise de variância de CINZAS das FIETG (comparação de médias-Teste de Tukey) ♦

Variável dependente: CINZAS					
Média das respostas	1,61	DMS= 0,25	Coefficiente de determinação (R^2)	0,7155	
Desvio padrão	0,08		Coefficiente de variação (C.V.= %)	5,0475	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	20	0,594932	0,029747	4,53	0,0001***
Erro	36	0,236568	0,006571		
Total corrigido	56	0,831500			

Anexo 7B. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para médias experimentais de PROTEÍNA das FIETG

$y_1 = 11,3135 + 0,0484x_1 - 0,0668x_2 + 0,1733x_3 + 0,0861x_1^2 + 0,0454x_2^2 + 0,0489x_3^2 - 0,0125x_1x_2 + 0,0225x_1x_3 - 0,070x_2x_3$																						
(0,0000)		(0,3206)		(0,1807)		(0,0045)		(0,0944)		(0,3498)		(0,3155)		(0,8400)		(0,7170)		(0,2745)				
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)																						
Média das respostas				11,44				Coeficiente de determinação (R^2)								0,7225						
Desvio padrão				0,17				Coeficiente de variação (C.V.= %)								1,4868						
REGRESSÃO				G.L.				S.Q.				R ²				Valor F				Prob>F		
Linear				3				0,503076				0,5359				5,793				0,0174*		
Quadrática				3				0,130174				0,1392				1,505				0,2784		
Interação				3				0,044500				0,0474				0,512				0,6837		
Total da regressão				9				0,678290				0,7225				2,604				0,0851		
RESÍDUO				G.L.				S.Q.				Q.M.				Valor F				Prob>F		
Falta de ajuste				5				0,178801				0,035760				1,750				0,3038 (OK)		
Erro puro				4				0,081720				0,020430										
Total do erro				9				0,260521				0,028947										
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)																						
Média das respostas				11,44				Coeficiente de determinação (R^2)								0,4369						
Desvio padrão				0,18				Coeficiente de variação (C.V.= %)								1,5410						
CAUSA DE VARIAÇÃO				G.L.				S.Q.				Q.M.				Valor F				Prob>F		
Modelo				1				0,410157				0,410157				13,19				0,0021*		
Erro				17				0,528654				0,031097										
Total corrigido				18				0,938811														
PARÂMETRO				Estimativa				Erro padrão da estimativa				Prob> T										
Intercepto				11,4432				0,0405				0,0001*										
X ₃				0,1733								0,0208*										

OBSERVAÇÕES GERAIS:

♦ **Modelo**= Tratamentos; **Erro**= Resíduo; **C.V.**= resultados expressos em porcentagem; **G.L.**= graus de liberdade; **S.Q.**= soma dos quadrados; **Q.M.**= quadrado médio (SQ/GL); **Prob>F**= nível de significância total do modelo; * = significativo ao nível de $p \leq 0,05$; ** = significativo ao nível de $p \leq 0,01$; *** = significativo ao nível de $p \leq 0,001$; ns = não significativo; **DMS**= diferença mínima significativa.

¹ Modelo de regressão completo sem ajuste, com variáveis e valores codificados (nível de significância embaixo entre parênteses); **negrito**= significativo ao nível de 5% de probabilidade; **X₁**= tempo de germinação (h); **X₂**= umidade da farinha (%) e **X₃**= temperatura de extrusão (°C); **Prob>F**= nível de significância total da regressão /ou do resíduo;

Falta de ajuste= Prob>F do resíduo, * = significativo ao nível de $p \leq 0,05$; ns = não significativo; **G.L.**= graus de liberdade; **S.Q.**= soma dos quadrados;

Q.M.= quadrado médio (SQ/GL); **Prob>|T|**= nível de significância pelo Teste t

Anexo 7C. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de LIPÍDIOS TOTAIS das FIETG

$y_i = 2,8314 - 0,0764x_1 - 0,1126x_2 + 0,0790x_3 - 0,3459x_1^2 - 0,1585x_2^2 - 0,0914x_3^2 - 0,0250x_1x_2 + 0,0275x_1x_3 - 0,0250x_2x_3$ (0,0000) (0,2672) (0,1155) (0,2324) (0,0005) (0,0365) (0,1910) (0,7738) (0,7520) (0,7738)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	2,40			Coefficiente de determinação (R^2)	0,8080
Desvio padrão	0,24			Coefficiente de variação (C.V. = %)	9,9354
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,338053	0,1265	1,977	0,1881
Quadrática	3	1,805434	0,6755	10,557	0,0026*
Interação	3	0,016050	0,0060	0,0938	0,9615
Total da regressão	9	2,159537	0,8080	4,209	0,0218*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,305694	0,061135	1,179	0,4492(OK)
Erro puro	4	0,207400	0,051850		
Total do erro	9	0,513074	0,057008		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	2,40			Coefficiente de determinação (R^2)	0,7275
Desvio padrão	0,23			Coefficiente de variação (C.V. = %)	9,4915
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	4	1,944229	0,486057	9,34	0,0007*
Erro	14	0,728381	0,052027		
Total corrigido	18	2,672611			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	2,7464		0,0842		0,0001*
x_1	-0,0764		0,0617		0,2360
x_2	-0,1126		0,0617		0,0896
x_1x_1	-0,3324		0,0611		0,0001*
x_2x_2	-0,1451		0,0611		0,0323*

Anexo 7D. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de CARBOIDRATOS das FIETG

$y_i = 84,2082 + 0,0229x_1 + 0,1399x_2 - 0,2687x_3 + 0,2764x_1^2 + 0,1863x_2^2 + 0,0201x_3^2 + 0,0475x_1x_2 - 0,045x_1x_3 + 0,1225x_2x_3$ (0,0000) (0,7998) (0,1456) (0,0136) (0,0118) (0,0630) (0,8239) (0,6886) (0,7040) (0,3135)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	84,56			Coefficiente de determinação (R^2)	0,7455
Desvio padrão	0,32			Coefficiente de variação (C.V. = %)	0,3838
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	1,260729	0,3386	3,990	0,0492*
Quadrática	3	1,360843	0,3655	4,307	0,0383*
Interação	3	0,154300	0,0414	0,488	0,6988
Total da regressão	9	2,775872	0,7455	2,929	0,0626
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,490322	0,098064	0,857	0,5752(OK)
Erro puro	4	0,457480	0,114370		
Total do erro	9	0,947802	0,105311		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	84,56			Coefficiente de determinação (R^2)	0,5048
Desvio padrão	0,35			Coefficiente de variação (C.V. = %)	0,4146
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	3	1,879805	0,626602	5,10	0,0125*
Erro	15	1,843868	0,122925		
Total corrigido	18	3,723674			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	84,3756		0,1046		0,0001*
x_1	0,0229		0,0949		0,8123
x_3	-0,2687		0,0949		0,0126*
x_1x_1	0,2499		0,0931		0,0169*

Anexo 7E. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de AÇÚCARES REDUTORES das FIETG

$y_i = 4,5854 + 0,6267x_1 + 0,2010x_2 - 0,1896x_3 + 0,1411x_1^2 - 0,1964x_2^2 - 0,0745x_3^2 + 0,1838x_1x_2 - 0,1013x_1x_3 + 0,0213x_2x_3$ (0,0000) (0,0040) (0,2496) (0,2756) (0,4100) (0,2598) (0,6592) (0,4115) (0,6464) (0,9229)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	4,49	Coeficiente de determinação (R^2)		0,7029	
Desvio padrão	0,60	Coeficiente de variação (C.V. = %)		13,4356	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	6,407534	0,5806	5,863	0,0168*
Quadrática	3	0,994684	0,0901	0,910	0,4737
Interação	3	0,355738	0,0322	0,326	0,8071
Total da regressão	9	7,757956	0,7029	2,366	0,1077
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	2,027760	0,405552	1,297	0,4122 (OK)
Erro puro	4	1,250600	0,312650		
Total do erro	9	3,278360	0,364262		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	4,49	Coeficiente de determinação (R^2)		0,4861	
Desvio padrão	0,58	Coeficiente de variação (C.V. = %)		12,8578	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	5,365038	5,365038	16,08	0,0009*
Erro	17	5,671277	0,333605		
Total corrigido	18	11,036316			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	4,4921		0,1325		0,0001*
x_1	0,6267		0,1563		0,0009*

Anexo 7F. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de AÇÚCARES TOTAIS das FIETG

$y_i = 6,3538 + 0,8247x_1 + 0,3144x_2 - 0,1496x_3 + 0,3972x_1^2 + 0,30x_2^2 - 0,1161x_3^2 + 0,3625x_1x_2 - 0,0025x_1x_3 + 0,0015x_2x_3$ (0,0000) (0,0039) (0,1764) (0,5026) (0,0969) (0,1952) (0,6010) (0,2277) (0,9931) (0,6052)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	6,94	Coeficiente de determinação (R^2)		0,7286	
Desvio padrão	0,79	Coeficiente de variação (C.V. = %)		11,4146	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	10,945744	0,5262	5,817	0,0172*
Quadrática	3	2,978556	0,1432	1,583	0,2605
Interação	3	1,231300	0,0592	0,654	0,6002
Total da regressão	9	15,155600	0,7286	2,685	0,0787
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	4,126373	0,825275	2,173	0,2360 (OK)
Erro puro	4	1,518880	0,379720		
Total do erro	9	5,645253	0,627250		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	6,94	Coeficiente de determinação (R^2)		0,4466	
Desvio padrão	0,82	Coeficiente de variação (C.V. = %)		11,8596	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	9,290017	9,290017	13,72	0,0018*
Erro	17	11,510836	0,677108		
Total corrigido	18	20,800853			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	6,9384		0,1888		0,0001*
x_1	0,8247		0,2227		0,0018*

Anexo 7G. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para os resultados experimentais de MAGNÉSIO das FIETG

$y_i = 161,8507 - 0,4993x_1 + 0,7322x_2 + 4,8923x_3 - 1,6493x_1^2 + 0,1181x_2^2 + 1,8854x_3^2 - 1,25x_1x_2 - 1,25x_1x_3 - 1,25x_2x_3$ (0,0000) (0,7292) (0,6131) (0,0067) (0,2684) (0,9346) (0,2104) (0,5110) (0,5110) (0,5110)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	162			Coefficiente de determinação (R^2)	0,6644
Desvio padrão	5			Coefficiente de variação (C.V. = %)	3,1870
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	337,6293	0,4717	4,217	0,0404*
Quadrática	3	100,4412	0,1403	1,254	0,3468
Interação	3	37,5000	0,0524	0,468	0,7116
Total da regressão	9	475,5705	0,6644	1,980	0,1618
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	160,2190	32,0438	1,602	0,3342 (OK)
Erro puro	4	80,0000	20,0000		
Total do erro	9	240,2190			
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	162			Coefficiente de determinação (R^2)	0,4567
Desvio padrão	5			Coefficiente de variação (C.V.)	2,9505
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	326,902279	326,902279	14,29	0,0015*
Erro	17	388,887195	22,875717		
Total corrigido	18	715,789474			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	162,1053		1,0973		0,0001*
x_3	4,8923		1,2942		0,0015*

Anexo 7H. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para os resultados experimentais de COBRE das FIETG

$y_i = 0,5141 + 0,0009x_1 - 0,0044x_2 + 0,0112x_3 - 0,0052x_1^2 - 0,0017x_2^2 - 0,0017x_3^2 - 0,0125x_1x_2 - 7,35807E-19x_1x_3 - 0,0025x_2x_3$ (0,0000) (0,8502) (0,3831) (0,0434) (0,3052) (0,7347) (0,7347) (0,0769) (1,0000) (0,6989)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	0,51			Coefficiente de determinação (R^2)	0,5670
Desvio padrão	0,02			Coefficiente de variação (C.V. = %)	3,4859
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,002004	0,3075	2,131	0,1664
Quadrática	3	0,000391	0,0600	0,416	0,7459
Interação	3	0,001300	0,1995	1,382	0,3098
Total da regressão	9	0,003695	0,5670	1,310	0,3471
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,002101	0,000420	2,335	0,2159 (OK)
Erro puro	4	0,000720	0,000180		
Total do erro	9	0,002821	0,000313		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	0,51			Coefficiente de determinação (R^2)	0,2652
Desvio padrão	0,02			Coefficiente de variação (C.V. = %)	3,3041
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	0,001728	0,001728	6,14	0,0240*
Erro	17	0,004788	0,000282		
Total corrigido	18	0,006516			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	0,5079		0,0039		0,0001*
x_3	0,0112		0,0045		0,0240*

Anexo 7I. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS (ácido aspártico) das FIETG

$y_i = 7,3804 + 0,4999x_1 + 0,0354x_2 - 0,1558x_3 - 0,0058x_1^2 - 0,1311x_2^2 - 0,0763x_3^2 - 0,0425x_1x_2 - 0,0075x_1x_3 + 0,0825x_2x_3$ (0,0000) (0,0003) (0,6971) (0,1110) (0,9510) (0,1714) (0,4095) (0,7207) (0,9495) (0,4921)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	7,23	Coeficiente de determinação (R^2)			0,8116
Desvio padrão	0,33	Coeficiente de variação (C.V.= %)			4,5086
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	3,761648	0,7415	11,809	0,0018
Quadrática	3	0,286152	0,0564	0,898	0,4790
Interação	3	0,069350	0,0137	0,218	0,8817
Total da regressão	9	4,117150	0,8116	4,308	0,0203
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,704538	0,140908	2,245	0,2267 (OK)
Erro puro	4	0,251080	0,062770		
Total do erro	9	0,955618	0,106180		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	7,23	Coeficiente de determinação (R^2)			0,6728
Desvio padrão	0,31	Coeficiente de variação (C.V.= %)			4,3235
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	3,412878	3,412878	34,95	0,0001*
Erro	17	1,659890	0,097641		
Total corrigido	18	5,072768			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	7,2274		0,0717		0,0001*
x_1	0,4999		0,0846		0,0001*

Anexo 7J. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS (serina) das FIETG

$y_i = 4,5012 - 0,0648x_1 - 0,0372x_2 + 0,0178x_3 + 0,0285x_1^2 + 0,0338x_2^2 + 0,0232x_3^2 + 0,0425x_1x_2 + 0,025x_1x_3 - 0,0375x_2x_3$									
(0,0000) (0,0232) (0,1507) (0,4719) (0,2603) (0,1879) (0,3537) (0,2033) (0,4405) (0,2569)									
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG -SAS)									
Média das respostas	4,56			Coeficiente de determinação (R ²)			0,6661		
Desvio padrão	0,09			Coeficiente de variação (C.V.= %)			1,9205		
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.		R ²		Valor F		Prob>F	
Linear	3	0,080569		0,3893		3,498		0,0629	
Quadrática	3	0,026594		0,1285		1,155		0,3792	
Interação	3	0,030700		0,1483		1,333		0,3236	
Total da regressão	9	0,137863		0,6661		1,995		0,1591	
RESÍDUO	G.L.	S.Q.		Q.M.		Valor F		Prob>F	
Falta de ajuste	5	0,057625		0,011525		4,016		0,1013 (OK)	
Erro puro	4	0,011480		0,002870					
Total do erro	9	0,069105		0,007678					
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)									
Média das respostas	4,56			Coeficiente de determinação (R ²)			0,2768		
Desvio padrão	0,09			Coeficiente de variação (C.V.= %)			2,0565		
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.		Q.M.		Valor F		Prob>F	
Modelo	1	0,057293		0,057293		6,51		0,0207*	
Erro	17	0,149676		0,008804					
Total corrigido	18	0,206968							
PARÂMETRO	Estimativa			Erro padrão da estimativa			Prob> T		
Intercepto	4,5626			0,0215			0,0001*		
X ₁	-0,0648			0,0254			0,0207*		

Anexo 7L. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS (ácido glutâmico) das FIETG

$y_i = 27,6554 - 0,9002x_1 - 0,4024x_2 + 0,3981x_3 - 0,2735x_1^2 + 0,1577x_2^2 + 0,0322x_3^2 + 0,3975x_1x_2 - 0,005x_1x_3 - 0,4225x_2x_3$ (0,0000) (0,0000) (0,0097) (0,0103) (0,0535) (0,2324) (0,7996) (0,0355) (0,9759) (0,0275)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	27,60	Coeficiente de determinação (R^2)		0,9137	
Desvio padrão	0,46	Coeficiente de variação (C.V. = %)		1,6492	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	15,443441	0,7150	24,855	0,0001*
Quadrática	3	1,599721	0,0741	2,575	0,1188
Interação	3	2,692300	0,1246	4,333	0,0378*
Total da regressão	9	19,735462	0,9137	10,588	0,0008*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	1,538132	0,307626	3,776	0,1111 (OKI)
Erro puro	4	0,352880	0,081470		
Total do erro	9	1,864012	0,207112		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	27,60	Coeficiente de determinação (R^2)		0,8396	
Desvio padrão	0,52	Coeficiente de variação (C.V. = %)		1,8706	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	5	18,135541	3,627108	13,61	0,0001*
Erro	13	3,463933	0,266456		
Total corrigido	18	21,599474			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	27,5953		0,1184		0,0001*
x_1	-0,9001		0,1397		0,0001*
x_2	-0,4024		0,1397		0,0129*
x_3	0,3981		0,1397		0,0137*
x_1x_2	0,3975		0,1825		0,0484*
x_2x_3	-0,4225		0,1825		0,0376*

Anexo 7M. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS (prolina) das FIETG

$y_i = 11,1374 - 0,0276x_1 + 0,0914x_2 - 0,1523x_3 - 0,0554x_1^2 - 0,0978x_2^2 - 0,0554x_3^2 + 0,0113x_1x_2 - 0,0063x_1x_3 + 0,1163x_2x_3$ (0,0000) (0,6156) (0,1187) (0,0184) (0,3231) (0,0980) (0,3231) (0,8745) (0,9301) (0,1275)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	10,99	Coeficiente de determinação (R^2)		0,6768	
Desvio padrão	0,20	Coeficiente de variação (C.V. = %)		1,7828	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,441226	0,4130	3,833	0,0509
Quadrática	3	0,172381	0,1614	1,498	0,2803
Interação	3	0,109437	0,1024	0,951	0,4564
Total da regressão	9	0,723045	0,6768	2,094	0,1431
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,190003	0,038001	0,979	0,5229 (OKI)
Erro puro	4	0,155320	0,038830		
Total do erro	9	0,345323	0,038369		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	10,99	Coeficiente de determinação (R^2)		0,2965	
Desvio padrão	0,21	Coeficiente de variação (C.V. = %)		1,9137	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	0,316773	0,316773	7,16	0,0159*
Erro	17	0,751595	0,044211		
Total corrigido	18	1,068368			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	10,9874		0,0482		0,0001*
x_3	-0,1523		0,0569		0,0159*

Anexo 7N. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS (glicina) das FIETG

$y_i = 4,3451 - 0,0289x_1 - 0,0619x_2 + 0,0413x_3 - 0,0132x_1^2 + 0,0186x_2^2 + 0,0168x_3^2 + 0,0313x_1x_2 - 0,0088x_1x_3 - 0,0338x_2x_3$					
(0,0000) (0,0600) (0,0013) (0,0133) (0,3508) (0,2006) (0,2430) (0,1091) (0,6305) (0,0870)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	4,36	Coeficiente de determinação (R^2)		0,8398	
Desvio padrão	0,05	Coeficiente de variação (C.V. = %)		1,1398	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,087046	0,6272	11,743	0,0018*
Quadrática	3	0,011959	0,0862	1,613	0,2539
Interação	3	0,017537	0,1264	2,366	0,1388
Total da regressão	9	0,116542	0,8398	5,241	0,0107*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,017517	0,003503	2,969	0,1570 (OK)
Erro puro	4	0,004720	0,001180		
Total do erro	9	0,022237	0,002471		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	4,36	Coeficiente de determinação (R^2)		0,5449	
Desvio padrão	0,06	Coeficiente de variação (C.V. = %)		1,4407	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	2	0,075621	0,037811	9,58	0,0018*
Erro	16	0,063158	0,003947		
Total corrigido	18	0,138779			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	4,3611		0,0144		0,0001*
x_2	-0,0619		0,0170		0,0022*
x_3	0,0413		0,0170		0,0272*

Anexo 7O. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS (cistina) das FIETG

$y_i = 3,7236 + 0,003x_1 + 0,108x_2 - 0,0148x_3 + 0,0228x_1^2 + 0,0458x_2^2 + 0,0122x_3^2 - 0,0925x_1x_2 + 0,035x_1x_3 + 0,075x_2x_3$					
(0,0000) (0,9418) (0,0239) (0,7179) (0,5812) (0,2801) (0,7667) (0,1091) (0,5179) (0,1832)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	3,78	Coeficiente de determinação (R^2)		0,6201	
Desvio padrão	0,15	Coeficiente de variação (C.V. = %)		3,8906	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,162435	0,3167	2,501	0,1254
Quadrática	3	0,032353	0,0631	0,498	0,6926
Interação	3	0,123250	0,2403	1,898	0,2004
Total da regressão	9	0,318038	0,6201	1,633	0,2383
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,178414	0,035683	8,703	0,0284*
Erro puro	4	0,016400	0,004100		
Total do erro	9	0,194814	0,021646		
ANOVA MODIFICADA					
Não significativa ao nível de 5% de probabilidade, porém QM do erro experimental pequeno → ajuste do modelo					
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	3,78	Coeficiente de determinação (R^2)		0,3106	
Desvio padrão	0,14	Coeficiente de variação (C.V. = %)		3,8135	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	0,159303	0,159303	7,66	0,0132*
Erro	17	0,353549	0,020797		
Total corrigido	18	0,512853			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	3,7816		0,0331		0,0001*
x_2	0,1080		0,0390		0,0132*

Anexo 7P. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS (leucina) das FIETG

$y_i = 7,0087 - 0,0192x_1 - 0,0812x_2 + 0,0257x_3 - 0,0393x_1^2 + 0,0190x_2^2 - 0,0057x_3^2 + 0,0550x_1x_2 + 0,0275x_1x_3 - 0,0600x_2x_3$					
(0,0000) (0,5483) (0,0269) (0,4254) (0,2330) (0,5515) (0,8563) (0,2040) (0,5107) (0,1694)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	6,99			Coefficiente de determinação (R^2)	0,6242
Desvio padrão	0,11			Coefficiente de variação (C.V. = %)	1,6250
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,104010	0,3366	2,687	0,1094
Quadrática	3	0,029814	0,0965	0,770	0,5391
Interação	3	0,059050	0,1911	1,526	0,2736
Total da regressão	9	0,192875	0,6242	1,661	0,2307
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,086805	0,017361	2,368	0,2119 (OK)
Erro puro	4	0,029320	0,007330		
Total do erro	9	0,116125	0,012903		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	6,99			Coefficiente de determinação (R^2)	0,2913
Desvio padrão	0,11			Coefficiente de variação (C.V. = %)	1,6238
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	0,089998	0,089998	6,99	0,0171*
Erro	17	0,219002	0,0128825		
Total corrigido	18	0,309000			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	6,9900		0,0260		0,0001*
x_2	-0,0812		0,0307		0,0171*

Anexo 7Q. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COMPOSIÇÃO EM AMINOÁCIDOS (lisina) das FIETG

$y_i = 2,7279 + 0,0742x_1 + 0,2162x_2 - 0,3408x_3 + 0,0229x_1^2 - 0,1237x_2^2 + 0,0371x_3^2 - 0,1863x_1x_2 + 0,0438x_1x_3 + 0,1688x_2x_3$					
(0,0000) (0,1503) (0,0013) (0,0000) (0,6382) (0,0276) (0,4519) (0,0144) (0,4956) (0,0229)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	2,68			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9187
Desvio padrão	0,17			Coefficiente de variação (C.V. = %)	6,4971
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	2,299600	0,6841	25,243	0,0001*
Quadrática	3	0,268181	0,0798	2,944	0,0912
Interação	3	0,520638	0,1549	5,715	0,0181*
Total da regressão	9	3,088419	0,9187	11,301	0,0006*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,250377	0,050075	8,739	0,0282*
Erro puro	4	0,022920	0,005730		
Total do erro	9	0,273297	0,030366		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)
Linear	2,299600	3	0,7665333	15,307704 *	5,41
Quadrática	0,268181	3	0,0893936	1,7851942 ^{ns}	5,41
Interação	0,520638	3	0,173546	3,4657214 ^{ns}	5,41
Total da regressão	3,088419	9	0,3431576	6,8528726 *	4,77
Falta de ajuste	0,250377	5	0,050075	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	2,68			Coefficiente de determinação (R^2)	0,9073
Desvio padrão	0,16			Coefficiente de variação (C.V. = %)	6,0086
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	6	3,050057	0,508343	19,57	0,0001*
Erro	12	0,311659	0,025972		
Total corrigido	18	3,361716			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	2,7766		0,0481		0,0001*
x_1	0,0742		0,0436		0,1148
x_2	0,2162		0,0436		0,0003*
x_3	-0,3408		0,0436		0,0001*
x_2x_2	-0,1314		0,0428		0,0097*
x_1x_2	-0,1863		0,0570		0,0067*
x_2x_3	0,1688		0,0570		0,0119*

Anexo 7R. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de ESCORE QUÍMICO

$y_i = 47,0675 + 1,2480x_1 + 3,7741x_2 - 5,8475x_3 + 0,5107x_1^2 - 2,1403x_2^2 + 0,5107x_3^2 - 3,25x_1x_2 + 1,00x_1x_3 + 3,00x_2x_3$									
(0,0000)	(0,1630)	(0,0013)	(0,0001)	(0,5496)	(0,0285)	(0,5496)	(0,0143)	(0,3758)	(0,0209)
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)									
Média das respostas	46	Coeficiente de determinação (R^2)			0,9179				
Desvio padrão	3	Coeficiente de variação (C.V.= %)			6,5620				
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F				
Linear	3	682,835776	0,6763	24,697	0,0001*				
Quadrática	3	79,404154	0,0786	2,872	0,0959*				
Interação	3	164,500000	0,1629	5,950	0,0161*				
Total da regressão	9	926,739930	0,9179	11,173	0,0007*				
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F				
Falta de ajuste	5	74,944280	14,988856	7,494	0,0368*				
Erro puro	4	8,000000	2,000000						
Total do erro	9	82,944280	9,216031						
ANOVA MODIFICADA									
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)				
Linear	682,835776	3	227,61192	15,185409*	5,41				
Quadrática	79,404154	3	26,468051	1,7658486 ^{ns}	5,41				
Interação	164,500000	3	54,833333	3,6582733 ^{ns}	5,41				
Total da regressão	926,739930	9	102,9711	6,86698438*	4,77				
Falta de ajuste	74,944280	5	14,988856		-				
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)									
Média das respostas	46	Coeficiente de determinação (R^2)			0,9038				
Desvio padrão	3	Coeficiente de variação (C.V.= %)			6,1504				
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F				
Modelo	6	912,5301	152,0883	18,79	0,0001*				
Erro	12	97,1541	8,0962						
Total corrigido	18	1009,6842							
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T				
Intercepto	47,8958		0,8491		0,0001*				
X ₁	1,2480		0,7699		0,1310				
X ₂	3,7741		0,7699		0,0004*				
X ₃	-5,8475		0,7699		0,0001*				
X ₂ X ₂	-2,2712		0,7554		0,0109*				
X ₁ X ₂	-3,2500		1,0060		0,0072*				
X ₂ X ₃	3,0000		1,0060		0,0114*				

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 7S. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de LISINA DISPONÍVEL das FIETG

$y_i = 1,7784 + 0,1367x_1 + 0,1785x_2 + 0,0706x_3 - 0,0835x_1^2 - 0,2002x_2^2 + 0,0685x_3^2 - 0,0788x_1x_2 + 0,1388x_1x_3 - 0,0063x_2x_3$					
(0,0000) (0,1032) (0,0420) (0,3734) (0,2966) (0,0262) (0,3874) (0,4445) (0,1925) (0,9508)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	1,62	Coeficiente de determinação (R^2)		0,7096	
Desvio padrão	0,29	Coeficiente de variação (C.V.= %)		17,1550	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,758351	0,3154	3,258	0,0736
Quadrática	3	0,743879	0,3094	3,196	0,0767
Interação	3	0,203938	0,0848	0,876	0,4888
Total da regressão	9	1,706167	0,7096	2,443	0,0997
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,356475	0,071295	0,834	0,5859 (OK)
Erro puro	4	0,341800	0,085450		
Total do erro	9	0,698275	0,077586		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	1,62	Coeficiente de determinação (R^2)		0,4129	
Desvio padrão	0,30	Coeficiente de variação (C.V.= %)		18,2939	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	2	0,992762	0,496381	5,63	0,0141*
Erro	16	1,411680	0,088230		
Total corrigido	18	2,404442			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	1,7662		0,0886		0,0001*
x_2	0,1785		0,0804		0,0412*
x_2x_2	-0,1982		0,0789		0,0230*

Anexo 7T. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de % de disponibilidade de lisina das FIETG

$y_i = 65,1493 + 3,9503x_1 + 1,8439x_2 + 10,4037x_3 - 3,1225x_1^2 - 4,7131x_2^2 + 2,3563x_3^2 + 0,875x_1x_2 + 4,625x_1x_3 - 4,125x_2x_3$					
(0,0000) (0,1461) (0,4767) (0,0023) (0,2403) (0,0902) (0,3675) (0,7935) (0,1878) (0,2355)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	61	Coeficiente de determinação (R^2)		0,7741	
Desvio padrão	9	Coeficiente de variação (C.V.= %)		14,9925	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	1737,890628	0,5180	6,879	0,0105*
Quadrática	3	545,941086	0,1627	2,161	0,1625
Interação	3	313,375000	0,0934	1,240	0,3512
Total da regressão	9	2597,206714	0,7741	3,427	0,0404*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	347,951181	69,590236	0,679	0,6641 (OK)
Erro puro	4	410,000000	102,500000		
Total do erro	9	757,951181	84,216798		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	61	Coeficiente de determinação (R^2)		0,4406	
Desvio padrão	11	Coeficiente de variação (C.V.= %)		17,1658	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	1478,320881	1478,320881	13,39	0,0019*
Erro	17	1876,837014	110,402177		
Total corrigido	18	3355,157895			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	61,210526		2,4105		0,0001*
x_3	10,403677		2,8431		0,0019*

Anexo 7U. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de DIGESTIBILIDADE "IN VITRO" das FIETG

$y_i = 91,0672 + 0,0286x_1 - 0,1341x_2 + 2,8526x_3 + 1,0435x_1^2 + 0,3066x_2^2 - 0,1476x_3^2 + 0,6638x_1x_2 - 0,4138x_1x_3 + 1,7588x_2x_3$ (0,0000) (0,9792) (0,9029) (0,0257) (0,3545) (0,7808) (0,8932) (0,6460) (0,7738) (0,2396)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG -SAS)					
Média das respostas	91,93	Coeficiente de determinação (R^2)			0,5289
Desvio padrão	3,95	Coeficiente de variação (C.V.= %)			4,2972
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	111,400160	0,3736	2,379	0,1374
Quadrática	3	16,656303	0,0559	0,356	0,7863
Interação	3	29,639638	0,0994	0,633	0,6121
Total da regressão	9	157,696100	0,5289	1,123	0,4330
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	108,806152	21,761230	2,750	0,1743 (OK)
Erro puro	4	31,653400	7,913350		
Total do erro	9	140,459552	15,606617		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	91,93	Coeficiente de determinação (R^2)			0,3728
Desvio padrão	3,32	Coeficiente de variação (C.V.= %)			3,6078
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	111,143234	111,143234	10,10	0,0055*
Erro	17	187,012418	11,000730		
Total corrigido	18	298,155653			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	91,9316		0,7609		0,0001*
X ₃	2,8526		0,8975		0,0055*

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 7V. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de PDCAAS1 (digestibilidade protéica corrigida pelo EQ – digest. verdadeira)

$y_i = 40,868 + 1,1016x_1 + 3,3581x_2 - 4,8923x_3 + 0,2253x_1^2 - 1,8955x_2^2 + 0,7555x_3^2 - 3,00x_1x_2 + 0,75x_1x_3 + 2,50x_2x_3$					
(0,0000) (0,1872) (0,0018) (0,0001) (0,7769) (0,0364) (0,3532) (0,0156) (0,4760) (0,0350)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	40	Coeficiente de determinação (R^2)		0,9041	
Desvio padrão	3	Coeficiente de variação (C.V.= %)		7,0932	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	497,500446	0,6519	20,385	0,0002*
Quadrática	3	65,942354	0,0864	2,702	0,1083
Interação	3	126,500000	0,1658	5,183	0,0237*
Total da regressão	9	689,942800	0,9041	9,424	0,0013*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	66,415095	13,283019	7,814	0,0343*
Erro puro	4	6,800000	1,700000		
Total do erro	9	73,215095	8,135011		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F_{calculado}	F_{tabelado} (p≤0,05)
Linear	497,500446	3	165,833480	12,484622*	5,41
Quadrática	65,942354	3	21,980784	1,6548033 ^{ns}	5,41
Interação	126,500000	3	42,166666	3,174479 ^{ns}	5,41
Total da regressão	689,942800	9	76,660311	5,7713017*	4,77
Falta de ajuste	66,415095	5	13,283019		-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	40	Coeficiente de determinação (R^2)		0,8877	
Desvio padrão	3	Coeficiente de variação (C.V.= %)		6,6457	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	6	677,4656	112,9109	15,81	0,0001*
Erro	12	85,6923	7,1410		
Total corrigido	18	763,1579			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	41,6634		0,7479		0,0001*
X ₁	1,1016		0,7231		0,1535
X ₂	3,3581		0,7231		0,0006*
X ₃	-4,8923		0,7231		0,0001*
X ₂ X ₂	-2,0212		0,7094		0,0146*
X ₁ X ₂	-3,0000		0,9448		0,0080*
X ₂ X ₃	2,5000		0,9448		0,0213*

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 7X. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de PDCAAS2 (digestibilidade protéica corrigida pelo EQ – digest. “in vitro”)

$y_i = 42,6841 + 1,1283x_1 + 3,3780x_2 - 4,0103x_3 + 0,9140x_1^2 - 1,9137x_2^2 + 0,5606x_3^2 - 2,625x_1x_2 + 0,625x_1x_3 + 3,625x_2x_3$ (0,0000) (0,2857) (0,0079) (0,0030) (0,3819) (0,0864) (0,5866) (0,0740) (0,6419) (0,0210)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	42	Coeficiente de determinação (R ²)			0,8390
Desvio padrão	3	Coeficiente de variação (C.V.= %)			8,6708
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	392,903557	0,5208	9,704	0,0035*
Quadrática	3	76,678244	0,1016	1,894	0,2011
Interação	3	163,375000	0,2166	4,035	0,0450*
Total da regressão	9	632,956801	0,8390	5,211	0,0109*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	102,264251	20,452850	4,261	0,0926(OK)
Erro puro	4	19,200000	4,800000		
Total do erro	9	121,464251	13,496028		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	42	Coeficiente de determinação (R ²)			0,6371
Desvio padrão	4	Coeficiente de variação (C.V.= %)			10,0835
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	3	480,642132	160,214044	8,78	0,0004*
Erro	15	273,778920	18,251928		
Total corrigido	18	754,421053			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	42,3684		0,9801		0,0001*
x ₂	3,3780		1,1560		0,0105*
x ₃	-4,0103		1,1560		0,0034*
x ₂ .x ₃	3,6250		1,5105		0,0298*

ANEXO 8. GRANULOMETRIA DAS FIETG

Anexo 8. Material retido, módulo de finura e diâmetro médio de partícula das FIETG

TYLER	14	35	60	80	100	Fundo	MÓDULO DE FINURA	DIÂMETRO MÉDIO DE PARTÍCULA (µm)
ABERTURA(mm)	1,19	0,42	0,250	0,177	0,149	<0,149		
EXPERIMENTO	MATERIAL RETIDO (%)							
1	0,00	1,54	12,42	45,16	14,63	14,63	1,48	291,2
2	0,00	3,08	15,04	46,39	17,91	17,91	1,68	334,0
3	0,00	2,63	16,07	45,65	16,14	16,14	1,66	329,5
4	0,00	4,93	22,42	45,37	10,47	10,47	1,88	383,8
5	0,00	1,20	10,50	51,68	11,30	11,30	1,51	296,5
6	0,00	2,55	13,24	47,31	12,30	12,30	1,57	308,9
7	0,00	3,73	16,11	40,28	15,25	15,25	1,59	313,6
8	0,00	2,20	12,02	39,14	15,10	15,10	1,38	271,5
9	0,00	3,08	15,52	41,20	15,45	15,45	1,57	308,6
10	0,00	2,01	13,86	53,22	14,00	14,00	1,70	338,5
11	0,00	1,41	11,65	59,47	13,40	13,40	1,73	345,3
12	0,00	2,41	13,57	43,78	14,57	14,57	1,52	299,7
13	0,00	2,11	12,12	41,11	16,40	16,40	1,43	281,4
14	0,00	3,52	14,53	52,82	14,13	14,13	1,77	356,3
15	0,00	2,67	15,11	48,93	13,77	13,77	1,68	332,8
16	0,00	2,65	15,30	51,33	14,68	14,68	1,74	347,5
17	0,00	2,79	15,34	48,41	13,61	13,61	1,68	332,8
18	0,00	1,54	15,09	49,09	12,21	12,21	1,62	319,7
19	0,00	2,19	13,14	53,35	14,07	14,07	1,69	335,9

ANEXO 9. ANÁLISE ESTATÍSTICA (QUALIDADE TECNOLÓGICA DAS FIETG)

Anexo 9A. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de DENSIDADE APARENTE das FIETG

$y_1 = 0,7119 + 0,0065x_1 + 0,0115x_2 - 0,0185x_3 + 0,0003x_1^2 - 0,1111x_2^2 - 0,0176x_3^2 - 0,0156x_1x_2 + 0,0092x_1x_3 + 0,0149x_2x_3$										
$\begin{matrix} (0,0000) & (0,1913) & (0,0339) & (0,0029) & (0,9436) & (0,0389) & (0,0040) & (0,0282) & (0,1602) & (0,0348) \end{matrix}$										
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG -SAS)										
Média das respostas		0,6916					Coeficiente de determinação (R^2)		0,8675	
Desvio padrão		0,0169					Coeficiente de variação (C.V.= %)		2,4481	
REGRESSÃO		G.L.	S.Q.		R^2		Valor F		Prob>F	
Linear		3	0,007041		0,3616		8,188		0,0061*	
Quadrática		3	0,005455		0,2802		6,344		0,0134*	
Interação		3	0,004395		0,2257		5,111		0,0246*	
Total da regressão		9	0,016891		0,8675		6,548		0,0050*	
RESÍDUO		G.L.	S.Q.		Q.M.		Valor F		Prob>F	
Falta de ajuste		5	0,002275		0,000455		5,982		0,0539 (OK)	
Erro puro		4	0,000304		0,000076075					
Total do erro		9	0,002580		0,000287					
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)										
Média das respostas		0,6916					Coeficiente de determinação (R^2)		0,8329	
Desvio padrão		0,0172					Coeficiente de variação (C.V.= %)		2,4866	
CAUSA DE VARIAÇÃO		G.L.	S.Q.		Q.M.		Valor F		Prob>F	
Modelo		7	0,016218		0,002317		7,83		0,0015*	
Erro		11	0,003253		0,000296					
Total corrigido		18	0,019471							
PARÂMETRO		Estimativa				Erro padrão da estimativa			Prob> T	
Intercepto		0,7122				0,0064			0,0001*	
x_1		0,0065				0,0047			0,1917	
x_2		0,0115				0,0047			0,0316*	
x_3		-0,0185				0,0047			0,0022*	
x_2x_2		-0,0111				0,0046			0,0343*	
x_3x_3		-0,0176				0,0046			0,0028*	
x_1x_2		-0,0156				0,0061			0,0260*	
x_2x_3		0,0149				0,0061			0,0326*	

OBSERVAÇÕES GERAIS:

¹Modelo de regressão completo sem ajuste, com variáveis e valores codificados (nível de significância embaixo entre parênteses); **negrito**= significativo ao nível de 5% de probabilidade; X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C); **Prob>F**= nível de significância total da regressão /ou do resíduo; **Falta de ajuste**= Prob>F do resíduo, *= significativo ao nível de p≤0,05; ns= não significativo; **G.L.**= graus de liberdade; **S.Q.**= soma dos quadrados; **Q.M.**= quadrado médio (SQ/GL); $F_{calculado} = QM_{regressão} / QM_{falta\ de\ ajuste}$; **Prob>|T|**= nível de probabilidade pelo Teste t

♦ **Modelo**= Tratamentos; **Erro**= Resíduo; **C.V.**= resultados expressos em porcentagem; **G.L.**= graus de liberdade; **S.Q.**= soma dos quadrados; **Q.M.**= quadrado médio (SQ/GL); **Prob>F**= nível de significância total do modelo; *= significativo ao nível de p≤0,05; **= significativo ao nível de p≤0,01; ***= significativo ao nível de p≤0,001; ns= não significativo; **DMS**= diferença mínima significativa.

Anexo 9B. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de IAA das FIETG

$y_i = 5,1121 - 0,0525x_1 + 0,6383x_2 + 0,1210x_3 + 0,1634x_1^2 + 0,0786x_2^2 - 0,3738x_3^2 - 0,015x_1x_2 - 0,04x_1x_3 + 0,0125x_2x_3$ (0,0000) (0,6107) (0,0001) (0,2551) (0,1352) (0,4503) (0,0045) (0,9107) (0,7655) (0,9256)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	5,02	Coeficiente de determinação (R^2)		0,8752	
Desvio padrão	0,37	Coeficiente de variação (C.V.= %)		7,3346	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	5,801819	0,5939	14,280	0,0009*
Quadrática	3	2,732054	0,2797	6,725	0,0112*
Interação	3	0,015850	0,0016	0,039	0,9890
Total da regressão	9	8,549722	0,8752	7,015	0,0039*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	1,191366	0,238273	34,683	0,022*
Erro puro	4	0,027480	0,006870		
Total do erro	9	1,218846	0,135427		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	$F_{calculado}$	$F_{tabelado} (p \leq 0,05)$
Linear	5,801819	3	1,9339396	8,1164865*	5,41
Quadrática	2,732054	3	0,9106846	3,8220217 ^{ns}	5,41
Interação	0,015850	3	0,0052833	0,0221733 ^{ns}	5,41
Total da regressão	8,549722	9	0,9499691	3,9868936 ^{ns}	4,77
Falta de ajuste	1,191366	5	0,238273	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	5,02	Coeficiente de determinação (R^2)		0,8282	
Desvio padrão	0,33	Coeficiente de variação (C.V.= %)		6,6674	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	3	8,089917	2,696639	24,10	0,0001*
Erro	15	1,678652	0,111910		
Total corrigido	18	9,768568			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	5,3084		0,0998		0,0001*
X_2	0,6383		0,0905		0,0001*
X_3	0,1210		0,0905		0,2011
X_3X_3	-0,4049		0,0888		0,0004*

X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C)

Anexo 9C. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de ISA das FIETG

$y_i = 21,0622 - 0,1655x_1 - 1,6098x_2 + 2,3744x_3 - 0,0481x_1^2 + 0,7614x_2^2 - 0,7083x_3^2 + 1,6425x_1x_2 - 2,16x_1x_3 - 1,3675x_2x_3$					
(0,0000) (0,7894) (0,0254) (0,0034) (0,9381) (0,2376) (0,2694) (0,0663) (0,0236) (0,1160)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	22,08	Coeficiente de determinação (R^2)			0,8182
Desvio padrão	2,22	Coeficiente de variação (C.V.= %)			10,0694
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R²	Valor F	Prob>F
Linear	3	112,769747	0,4606	7,602	0,0077*
Quadrática	3	13,673342	0,0559	0,922	0,4688
Interação	3	73,867700	0,3017	4,979	0,0264*
Total da regressão	9	200,310789	0,8182	4,501	0,0176*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	43,734194	8,746839	45,374	0,0013*
Erro puro	4	0,771080	0,192770		
Total do erro	9	44,505274	4,945030		
ANOVA MODIFICADA					
Não significativa ao 5% de probabilidade, porém erro experimental pequeno → ajuste do modelo					
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	22,08	Coeficiente de determinação (R^2)			0,6131
Desvio padrão	2,60	Coeficiente de variação (C.V.= %)			11,7782
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	4	150,094547	37,523637	5,55	0,0069*
Erro	14	94,721516	6,765823		
Total corrigido	18	244,816063			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	22,0842		0,5967		0,0001*
x_1	-0,1655		0,7038		0,8174
x_2	-1,6098		0,7038		0,0383*
x_3	2,3744		0,7038		0,0045*
x_1x_3	-2,1600		0,9196		0,0340*

Anexo 9D. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COR (luminosidade – L*) das FIETG

$y_i = 68,2744 - 0,6559x_1 + 0,8853x_2 - 2,8971x_3 - 0,3420x_1^2 - 0,8828x_2^2 + 0,6336x_3^2 - 2,06x_1x_2 + 0,3175x_1x_3 + 1,8425x_2x_3$ (0,0000) (0,1398) (0,0566) (0,0001) (0,4204) (0,0572) (0,1522) (0,0037) (0,5633) (0,0069)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG –SAS)					
Média das respostas	67,85	Coeficiente de determinação (R^2)			0,9136
Desvio padrão	1,50	Coeficiente de variação (C.V.= %)			2,2058
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	131,219483	0,5621	19,527	0,0003*
Quadrática	3	20,137681	0,0863	2,997	0,0879
Interação	3	61,913700	0,2652	9,214	0,0042*
Total da regressão	9	213,270864	0,9136	10,579	0,0008*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	17,786111	3,557222	5,995	0,0537 (OK)
Erro puro	4	2,373520	0,593380		
Total do erro	9	20,159631	2,239959		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	67,85	Coeficiente de determinação (R^2)			0,8239
Desvio padrão	1,78	Coeficiente de variação (C.V.= %)			2,6207
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	5	192,326733	38,465347	12,17	0,0002*
Erro	13	41,103761	3,161828		
Total corrigido	18	233,430495			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	67,8495		0,4079		0,0001*
x_1	-0,6559		0,4811		0,1959
x_2	0,8853		0,4811		0,0887
x_3	-2,8971		0,4811		0,0001*
x_1x_2	-2,0600		0,6287		0,0060*
x_2x_3	1,8425		0,6287		0,0117*

Anexo 9E. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COR (coordenada de cromaticidade a*)

$y_i = 6,4186 + 0,40037x_1 - 0,7312x_2 + 1,2808x_3 + 0,0306x_1^2 + 0,2427x_2^2 - 0,3247x_3^2 + 0,8438x_1x_2 + 0,1013x_1x_3 - 0,5738x_2x_3$									
$(0,0000) \quad (0,0880) \quad (0,0071) \quad (0,0002) \quad (0,8880) \quad (0,2798) \quad (0,1583) \quad (0,0136) \quad (0,7219) \quad (0,0671)$									
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)									
Média das respostas		6,38		Coeficiente de determinação (R ²)		0,8871			
Desvio padrão		0,78		Coeficiente de variação (C.V.= %)		12,2179			
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.		R ²	Valor F	Prob>F			
Linear	3	31,936089		0,6590	17,511	0,0004*			
Quadrática	3	2,640006		0,0545	1,448	0,2927			
Interação	3	8,410838		0,1736	4,612	0,0322*			
Total da regressão	9	42,986932		0,8871	7,857	0,0026*			
RESÍDUO	G.L.	S.Q.		Q.M.	Valor F	Prob>F			
Falta de ajuste	5	5,012200		1,002440	8,734	0,0283*			
Erro puro	4	0,459120		0,114780					
Total do erro	9	5,471320		0,607924					
ANOVA MODIFICADA									
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)				
Linear	31,936089	3	10,645363	10,619451*	5,41				
Quadrática	2,640006	3	0,880002	0,87786 ^{ns}	5,41				
Interação	8,410838	3	2,8036126	2,7967884 ^{ns}	5,41				
Total da regressão	42,986932	9	4,7763257	4,7646998 ^{ns}	4,77				
Falta de ajuste	5,012200	5	1,002440	-	-				
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)									
Média das respostas		6,38		Coeficiente de determinação (R ²)		0,7766			
Desvio padrão		0,88		Coeficiente de variação (C.V.= %)		13,7803			
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.		Q.M.	Valor F	Prob>F			
Modelo	4	37,631402		9,407850	12,17	0,0002*			
Erro	14	10,826851		0,773346					
Total corrigido	18	48,458253							
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T				
Intercepto	6,3816		0,2017		0,0001*				
x ₁	0,4037		0,2380		0,1119				
x ₂	-0,7312		0,2380		0,0083*				
x ₃	1,2808		0,2380		0,0001*				
x ₁ x ₂	0,8438		0,3109		0,0168*				

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 9F. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COR (coordenada de cromaticidade b*)

$y_i = 26,6093 + 0,9656x_1 - 0,6195x_2 + 1,7638x_3 - 0,1892x_1^2 - 0,2652x_2^2 - 1,0411x_3^2 + 0,9763x_1x_2 + 0,1813x_1x_3 - 0,3813x_2x_3$					
(0,0000) (0,0031) (0,0305) (0,0000) (0,4537) (0,3009) (0,0020) (0,0129) (0,5799) (0,2580)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	25,53	Coeficiente de determinação (R ²)		0,9217	
Desvio padrão	0,89	Coeficiente de variação (C.V.= %)		3,4970	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R²	Valor F	Prob>F
Linear	3	60,468899	0,6596	25,280	0,0001*
Quadrática	3	14,982434	0,1634	6,264	0,0139*
Interação	3	9,050137	0,0987	3,784	0,0525
Total da regressão	9	84,501470	0,9217	11,776	0,0006*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	6,215473	1,243095	5,178	0,0681 (OK)
Erro puro	4	0,960320	0,240080		
Total do erro	9	7,175793	0,797310		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	25,53	Coeficiente de determinação (R ²)		0,8923	
Desvio padrão	0,87	Coeficiente de variação (C.V.= %)		3,4136	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	5	81,800291	16,360058	21,53	0,0001*
Erro	13	9,876972	0,759767		
Total corrigido	18	91,677264			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	26,2407		0,2601		0,0001*
x ₁	0,9656		0,2359		0,0013*
x ₂	-0,6195		0,2359		0,0209*
x ₃	1,7638		0,2359		0,0001*
x ₁ x ₂	0,9763		0,3082		0,0074*
x ₂ x ₃	-0,9828		0,2314		0,0010*

Anexo 9G. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de COR (diferença de cor)

$y_i = 20,0733 + 1,1696x_1 - 1,2292x_2 + 3,4829x_3 + 0,1218x_1^2 + 0,5106x_2^2 - 1,2073x_3^2 + 2,3013x_1x_2 - 0,1213x_1x_3 - 1,6888x_2x_3$					
(0,0000) (0,0285) (0,0229) (0,0000) (0,7923) (0,2848) (0,0248) (0,0035) (0,8408) (0,0182)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	19,66	Coeficiente de determinação (R ²)		0,9231	
Desvio padrão	1,66	Coeficiente de variação (C.V.= %)		8,4380	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R²	Valor F	Prob>F
Linear	3	204,998958	0,6362	24,831	0,0001*
Quadrática	3	27,141005	0,0842	3,287	0,0722
Interação	3	65,298638	0,2027	7,909	0,0068*
Total da regressão	9	297,438601	0,9231	12,009	0,0005*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	21,728479	4,345696	5,719	0,0580 (OK)
Erro puro	4	3,039320	0,759830		
Total do erro	9	24,767799	2,751978		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	19,66	Coeficiente de determinação (R ²)		0,9116	
Desvio padrão	1,54	Coeficiente de variação (C.V.= %)		7,8354	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	6	293,730965	48,955161	20,63	0,0001*
Erro	12	28,475435	2,372953		
Total corrigido	18	322,206400			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	20,5861		0,4597		0,0001*
x ₁	1,1696		0,4168		0,0159*
x ₂	-1,2292		0,4168		0,0122*
x ₃	3,4829		0,4168		0,0001*
x ₁ x ₂	2,3013		0,5446		0,0012*
x ₂ x ₃	-1,6888		0,5446		0,0092*
x ₃ x ₁	-1,2883		0,4089		0,0084*

Anexo 9H. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de CARACTERÍSTICAS DE PASTA (tempo de viscosidade máxima)

$y_i = 6,8563 + 0,4640x_1 - 0,3859x_2 - 0,830805x_3 - 0,5059x_1^2 - 0,4953x_2^2 - 0,5784x_3^2 - 0,3106x_1x_2 + 0,9719x_1x_3 + 0,0781x_2x_3$ (0,0000) (0,1201) (0,1871) (0,0133) (0,0940) (0,1001) (0,0610) (0,4019) (0,0224) (0,8298)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	5,721	Coeficiente de determinação (R^2)		0,7789	
Desvio padrão	0,999	Coeficiente de variação (C.V.= %)		17,4590	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	14,402953	0,3547	4,813	0,0288*
Quadrática	3	8,842022	0,2178	2,954	0,0905
Interação	3	8,377059	0,2063	2,799	0,1010
Total da regressão	9	31,622034	0,7789	3,522	0,0373*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	8,978279	1,791040	310,4	0,0000*
Erro puro	4	0,023080	0,005770		
Total do erro	9	8,978279	0,997587		
ANOVA MODIFICADA					
Não significativa ao nível de 5% de probabilidade, porém erro experimental pequeno → ajuste do modelo					
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	5,721	Coeficiente de determinação (R^2)		0,4908	
Desvio padrão	1,174	Coeficiente de variação (C.V.= %)		20,5222	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	3	19,925047	6,641682	4,82	0,0152*
Erro	15	20,675266	1,378351		
Total corrigido	18	40,600313			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	5,7208		0,2693		0,0001*
x_1	0,4640		0,3177		0,1648
x_3	-0,8309		0,3177		0,0195*
x_1x_3	0,9719		0,4151		0,0334*

Anexo 9I. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e ANOVA modificada para as médias experimentais de CARACTERÍSTICAS DE PASTA das FIETG (viscosidade máxima)

$y_i = 265,8512 - 41,6677x_1 + 35,5899x_2 - 20,6459x_3 - 5,8348x_1^2 + 8,6574x_2^2 - 1,1513x_3^2 - 48,875x_1x_2 + 4,25x_1x_3 + 37,5x_2x_3$ (0,0000) (0,0068) (0,0153) (0,1173) (0,6362) (0,4861) (0,9252) (0,0120) (0,7911) (0,0394)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	267,05	Coeficiente de determinação (R^2)			0,8192
Desvio padrão	44,05	Coeficiente de variação (C.V.= %)			16,4943
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	46835	0,4850	8,046	0,0065*
Quadrática	3	1760,908616	0,0182	0,303	0,8230
Interação	3	30505	0,3159	5,241	0,0230*
Total da regressão	9	79101	0,8192	4,530	0,0173*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	17092,0	3418,356942	36,885	0,0019*
Erro puro	4	370,7	92,675000		
Total do erro	9	17462,0	1940,276079		
ANOVA MODIFICADA					
Não significativa ao nível de 5% de probabilidade, porém erro experimental grande, por isso o modelo não foi ajustado.					

Anexo 9J. Análise de variância de tempo de CARACTERÍSTICAS DE PASTA das FIETG (viscosidade máxima) - comparação de médias - Teste de Tukey ♦

Variável dependente: VISCOSIDADE MÁXIMA					
Média das respostas	267,05	DMS= 84,71	Coefficiente de determinação (R^2)	0,9623	
Desvio padrão	20,86		Coefficiente de variação (C.V.= %)	7,8122	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	19	200025,42	10527,65	24,19	0,0001***
Erro	18	7834,47	435,25		
Total corrigido	37	207859,89			

Anexo 9L. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de CARACTERÍSTICAS DE PASTA (viscosidade mínima à temperatura constante)

$$y_i = 222,3455 - 18,0789x_1 - 3,6447x_2 - 32,8299x_3 - 16,4274x_1^2 - 34,8076x_2^2 - 24,2920x_3^2 - 23,6875x_1x_2 + 24,4375x_1x_3 - 0,0625x_2x_3$$

(0,0000)
(0,0220)
(0,5912)
(0,0007)
(0,0333)
(0,0005)
(0,0048)
(0,0218)
(0,0188)
(0,9943)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Média das respostas	168,05	Coeficiente de determinação (R ²)		0,9071	
Desvio padrão	24,19	Coeficiente de variação (C.V.= %)		14,3924	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	19366	0,3416	11,035	0,0023*
Quadrática	3	22789	0,4020	12,985	0,0013*
Interação	3	9266,343750	0,1635	5,280	0,0225*
Total da regressão	9	51421	0,9071	9,767	0,0011*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	4684,732754	936,946551	6,458	0,0474*
Erro puro	4	580,300000	145,075000		
Total do erro	9	5265,032754	585,003639		

ANOVA MODIFICADA

Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)
Linear	19366	3	6455,33	6,8897526*	5,41
Quadrática	22789	3	7596,33	8,1075382*	5,41
Interação	9266,343750	3	3088,78	3,2966448 ^{ns}	5,41
Total da regressão	51421	9	5713,44	6,0979358*	4,77
Falta de ajuste	4684,732754	5	936,946551	-	-

MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)

Média das respostas	168,05	Coeficiente de determinação (R ²)		0,9071	
Desvio padrão	22,95	Coeficiente de variação (C.V.= %)		13,6539	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	8	51421,3834	6427,6729	12,21	0,0003*
Erro	10	5265,0640	526,5064		
Total corrigido	18	56686,4474			

PARÂMETRO	Estimativa	Erro padrão da estimativa	Prob> T
Intercepto	222,3455	10,2497	0,0001*
x ₁	-18,0789	6,2088	0,0155*
x ₂	-3,6447	6,2088	0,5702
x ₃	-32,8299	6,2088	0,0004*
x ₁ x ₁	-16,4273	6,2095	0,0245*
x ₂ x ₂	-34,8076	6,2095	0,0002*
x ₃ x ₃	-24,2920	6,2095	0,0029*
x ₁ x ₂	-23,6875	8,1125	0,0153*
x ₁ x ₃	24,4375	8,1125	0,0131*

Anexo 9M. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de CARACTERÍSTICAS DE PASTA (viscosidade final)

$y_i = 305,4843 - 31,5526x_1 + 8,1986x_2 - 92,1069x_3 - 13,0209x_1^2 - 34,7591x_2^2 + 3,9455x_3^2 - 48,0x_1x_2 + 25,75x_1x_3 + 25,375x_2x_3$					
(0,0000) (0,0080) (0,4012) (0,0000) (0,1983) (0,0047) (0,6816) (0,0034) (0,0633) (0,0665)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	273,97	Coeficiente de determinação (R^2)			0,9436
Desvio padrão	34,39	Coeficiente de variação (C.V.= %)			12,5535
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R²	Valor F	Prob>F
Linear	3	130388	0,6909	36,743	0,0000*
Quadrática	3	18810	0,0997	5,301	0,0223*
Interação	3	28888	0,1531	8,140	0,0062*
Total da regressão	9	178086	0,9436	16,728	0,0001*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	9006,862665	1801,372533	4,396	0,0882 (OK)
Erro puro	4	1639,200000	409,800000		
Total do erro	9	10646	1182,895852		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	273,97	Coeficiente de determinação (R^2)			0,8734
Desvio padrão	42,87	Coeficiente de variação (C.V.= %)			15,6488
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	5	164835,7709	32967,1542	17,93	0,0001*
Erro	13	23895,9659	1838,1512		
Total corrigido	18	188731,7368			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	298,1244		12,7940		0,0001*
X ₁	-31,5526		11,6009		0,0175*
X ₂	8,1986		11,6009		0,4922
X ₃	-92,1069		11,6009		0,0001*
X ₂ X ₂	-33,5961		11,3817		0,0112*
X ₁ X ₂	-48,0000		15,1581		0,0074*

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 9N. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de FORÇA DO GEL

$y_i = 68,1007 - 17,7752x_1 - 5,2950x_2 - 21,1131x_3 - 3,0150x_1^2 - 0,6114x_2^2 + 0,6345x_3^2 - 8,5938x_1x_2 + 19,7938x_1x_3 + 4,2813x_2x_3$					
(0,0977) (0,0008) (0,1772) (0,0002) (0,4261) (0,8695) (0,8646) (0,1023) (0,0023) (0,3886)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	66,0	Coeficiente de determinação (R^2)		0,9020	
Desvio padrão	13,4	Coeficiente de variação (C.V.= %)		20,2673	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	10787	0,6574	20,125	0,0002*
Quadrática	3	141,6685	0,0086	0,264	0,8495
Interação	3	3871,7934	0,2360	7,224	0,0091*
Total da regressão	9	14800	0,9020	9,205	0,0014*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	1596,567404	319,313481	112,5	0,0002*
Erro puro	4	11,355000	2,838750		
Total do erro	9	1607,922404	178,658045		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	$F_{calculado}$	$F_{tabelado} (p \leq 0,05)$
Linear	10787	3	3595,6666	11,2606*	5,41
Quadrática	141,6685	3	47,2228	0,1479 ^{ns}	5,41
Interação	3871,7934	3	1290,5978	4,0418 ^{ns}	5,41
Total da regressão	14800	9	1644,4444	5,1499*	4,77
Falta de ajuste	1596,5674	5	319,3135		-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	66,00	Coeficiente de determinação (R^2)		0,8251	
Desvio padrão	13,8	Coeficiente de variação (C.V.= %)		20,9739	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	3	13538,0996	4512,6999	23,59	0,0001*
Erro	15	2869,9804	191,3320		
Total corrigido	18	16408,0800			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	65,9500		3,1733		0,0001*
x_1	-17,7752		3,7428		0,0003*
x_3	-21,1131		3,7428		0,0001*
x_1x_3	19,7938		4,8905		0,0011*

x_1 = tempo de germinação (h); x_2 = umidade da farinha (%) e x_3 = temperatura de extrusão (°C)

Anexo 9 O. Análise de variância (PROC RSREG) individual das médias dos dados experimentais de FORÇA DO GEL das FIETG para os 14 experimentos e para as 5 repetições no ponto central

Variável dependente: 14 experimentos de FORÇA DO GEL			
Média das respostas	65,16	Coeficiente de determinação (R^2)	0,9028
Desvio padrão	19,95	Coeficiente de variação (C.V.= %)	30,6086
Variável dependente: 5 experimentos do ponto central de FORÇA DO GEL			
Média das respostas	68,15		
Desvio padrão	1,68	Coeficiente de variação (C.V.= %)	2,4723

Anexo 9P. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de VISCOSIDADE A 37°C das FIETG

$Y_i = 188,4371 - 39,8174x_1 + 66,7945x_2 + 32,7169x_3 + 3,7646x_1^2 + 12,2478x_2^2 - 22,0384x_3^2 - 49,625x_1x_2 - 6,125x_1x_3 + 5,875x_2x_3$					
(0,0000) (0,0180) (0,0009) (0,0418) (0,7911) (0,3978) (0,1447) (0,0224) (0,7418) (0,7520)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	184			Coeficiente de determinação (R^2)	0,8453
Desvio padrão	51			Coeficiente de variação (C.V.= %)	27,6957
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	97210	0,6428	12,463	0,0015*
Quadrática	3	10337	0,0684	1,325	0,3257
Interação	3	20277	0,1341	2,600	0,1166
Total da regressão	9	127825	0,8453	5,463	0,0093*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	22266	4453,176401	15,719	0,0098*
Erro puro	4	1133,2	283,300000		
Total do erro	9	23399	2599,898001		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculada}	F _{tabelado} (p≤0,05)
Linear	97210	3	32403,333	7,2764539*	5,41
Quadrática	10337	3	3445,6666	0,7737547 ^{ns}	5,41
Interação	20277	3	6759	1,517793 ^{ns}	5,41
Total da regressão	127825	9	14202,777	3,1893587 ^{ns}	4,77
Falta de ajuste	22266	5	4453,176401	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	184			Coeficiente de determinação (R^2)	0,7731
Desvio padrão	50			Coeficiente de variação (C.V.= %)	26,8903
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	4	116911,3873	29227,8468	11,93	0,0002*
Erro	14	34312,4021	2450,8859		
Total corrigido	18	151223,7895			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	184,1053		11,3576		0,0001*
X ₁	-39,8174		13,3957		0,0101*
X ₂	66,7945		13,3957		0,0002*
X ₃	32,7169		13,3957		0,0285*
X ₁ X ₂	-49,6250		17,5032		0,0132*

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 9Q. Análise de variância (PROC RSREG) individual das médias dos dados experimentais de VISCOSIDADE A 37°C das FIETG para os 14 experimentos e para as 5 repetições no ponto central

Variável dependente: 14 experimentos de VISCOSIDADE À 37°C			
Média das respostas	182,21	Coeficiente de determinação (R^2)	0,8647
Desvio padrão	71,20	Coeficiente de variação (C.V.= %)	39,0734
Variável dependente: 5 experimentos do ponto central de VISCOSIDADE À 37°C			
Média das respostas	189,40		
Desvio padrão	16,83	Coeficiente de variação (C.V.= %)	8,8868

ANEXO 10 . ANÁLISE ESTATÍSTICA (ESTABILIDADE AO ARMAZENAMENTO DAS FIETG)

Anexo 10A. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de pH – t₀ (zero meses de armazenamento) das FIETG

$y_i = 6,0233 - 0,0515x_1 + 0,1407x_2 - 0,1839x_3 + 0,0090x_1^2 - 0,0246x_2^2 + 0,0585x_3^2 - 0,0738x_1x_2 + 0,0138x_1x_3 + 0,0663x_2x_3$ (0,0000) (0,0934) (0,0006) (0,0001) (0,7500) (0,3937) (0,0617) (0,0697) (0,7101) (0,0975)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG –SAS)					
Média das respostas	6,05	Coeficiente de determinação (R ²)			0,9079
Desvio padrão	0,10	Coeficiente de variação (C.V.= %)			1,6740
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,768701	0,7659	24,947	0,0001*
Quadrática	3	0,062385	0,0622	2,025	0,1810
Interação	3	0,080138	0,0798	2,601	0,1165
Total da regressão	9	0,911223	0,9079	9,857	0,0011*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,091520	0,018304	79,583	0,0004*
Erro puro	4	0,000920	0,000230		
Total do erro	9	0,092440	0,010271		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)
Linear	0,768701	3	0,2562336	13,998776*	5,41
Quadrática	0,062385	3	0,020795	1,1360904 ^{ns}	5,41
Interação	0,080138	3	0,0267126	1,4593859 ^{ns}	5,41
Total da regressão	0,911223	9	0,101247	5,5314138*	4,77
Falta de ajuste	0,091520	5	0,018304	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	6,05	Coeficiente de determinação (R ²)			0,7298
Desvio padrão	0,13	Coeficiente de variação (C.V.= %)			2,1501
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	2	0,732545	0,36627271	21,62	0,0001*
Erro	16	0,271117	0,01694486		
Total corrigido	18	1,003663			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	6,0542		0,0299		0,0001*
X ₂	0,1407		0,0352		0,0010*
X ₃	-0,1839		0,0352		0,0001*

OBSERVAÇÕES GERAIS:

¹ Modelo de regressão completo sem ajuste, com variáveis e valores codificados (nível de significância embaixo entre parênteses); **negrito**= significativo ao nível de 5% de probabilidade;

X₁= tempo de germinação (h); X₂= unidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C);

Prob>F= nível de significância total da regressão /ou do resíduo;

Falta de ajuste= Prob>F do resíduo, *= significativo ao nível de p≤0,05; ns= não significativo;

G.L.= graus de liberdade; **S.Q.**= soma dos quadrados; **F_{calculado}**= QM_{regressão}/QM_{falta de ajuste};

Q.M.= quadrado médio (SQ/GL); **Prob>|T|**= nível de probabilidade pelo Teste t

♦ **Modelo**= Tratamentos; **Erro**= Resíduo; **C.V.**= resultados expressos em porcentagem; **G.L.**= graus de liberdade; **S.Q.**= soma dos quadrados; **Q.M.**= quadrado médio (SQ/GL); **Prob>F**= nível de significância total do modelo; *= significativo ao nível de p≤0,05; **= significativo ao nível de p≤0,01; ***= significativo ao nível de p≤0,001; ns= não significativo; DMS= diferença mínima significativa.

Anexo 10B. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para os resultados experimentais de pH – t₁ (2 meses de armazenamento) das FIETG

$y_i = 5,7806 - 0,0545x_1 + 0,1495x_2 - 0,1672x_3 - 0,0094x_1^2 - 0,0235x_2^2 + 0,0313x_3^2 - 0,0788x_1x_2 + 0,0063x_1x_3 + 0,0838x_2x_3$					
(0,0000) (0,1413) (0,0017) (0,0008) (0,7879) (0,5045) (0,3795) (0,1085) (0,8907) (0,0906)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG –SAS)					
Média das respostas	5,78	Coeficiente de determinação (R ²)			0,8594
Desvio padrão	0,13	Coeficiente de variação (C.V.= %)			2,1631
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R²	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,727889	0,7275	15,525	0,0007*
Quadrática	3	0,025909	0,0259	0,553	0,6591
Interação	3	0,106038	0,1060	2,262	0,1503
Total da regressão	9	0,859836	0,8594	6,113	0,0063*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,134139	0,026828	16,459	0,0090*
Erro puro	4	0,006520	0,001630		
Total do erro	9	0,140659	0,015629		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F_{calculado}	F_{tabelado} (p≤0,05)
Linear	0,727889	3	0,2426296	9,0438944	5,41
Quadrática	0,025909	3	0,0086363	0,3219136	5,41
Interação	0,106038	3	0,035346	1,3175041	5,41
Total da regressão	0,859836	9	0,0955373	3,561104	4,77
Falta de ajuste	0,134139	5	0,026828	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	5,78	Coeficiente de determinação (R ²)			0,6869
Desvio padrão	0,14	Coeficiente de variação (C.V.= %)			2,4210
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	2	0,687255	0,343627	17,55	0,0001*
Erro	16	0,313240	0,019578		
Total corrigido	18	1,000495			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	5,7795		0,0321		0,0001*
X ₂	0,1495		0,0379		0,0011*
X ₃	-0,1672		0,0379		0,0004*

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 10C. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para os resultados experimentais de pH - t₂ (4 meses de armazenamento) das FIETG

$y_i = 5,8859 - 0,0503x_1 + 0,1522x_2 - 0,1699x_3 - 0,0175x_1^2 - 0,0476x_2^2 + 0,0284x_3^2 - 0,0763x_1x_2 - 0,0063x_1x_3 + 0,0413x_2x_3$					
(0,0000) (0,0454) (0,0001) (0,0000) (0,4391) (0,0557) (0,2223) (0,0247) (0,8302) (0,1791)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG - SAS)					
Média das respostas	5,86	Coeficiente de determinação (R ²)		0,9369	
Desvio padrão	0,08	Coeficiente de variação (C.V.= %)		1,3665	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,745315	0,8145	38,751	0,0000*
Quadrática	3	0,051641	0,0564	2,685	0,1096
Interação	3	0,060438	0,0660	3,142	0,0796
Total da regressão	9	0,857394	0,9369	14,859	0,0002*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,053421	0,010684	9,985	0,0223*
Erro puro	4	0,004280	0,001070		
Total do erro	9	0,057701	0,006411		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)
Linear	0,745315	3	0,2484383	23,253304	5,41
Quadrática	0,051641	3	0,0172136	1,6111568	5,41
Interação	0,060438	3	0,020146	1,8856233	5,41
Total da regressão	0,857394	9	0,095266	8,9166978	4,77
Falta de ajuste	0,053421	5	0,010684	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM - SAS)					
Média das respostas	5,86	Coeficiente de determinação (R ²)		0,8653	
Desvio padrão	0,09	Coeficiente de variação (C.V.)		1,6014	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	4	0,791828	0,197957	22,48	0,0001*
Erro	14	0,123267	0,008805		
Total corrigido	18	0,915095			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	5,8595		0,0215		0,0001*
X ₁	-0,0503		0,0254		0,0676
X ₂	0,1522		0,0254		0,0001*
X ₃	-0,1699		0,0254		0,0001*
X ₁ X ₂	-0,0763		0,0332		0,0375*

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 10D. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para os resultados experimentais de pH – t₃ (6 meses de armazenamento) das FIETG

$y_i = 5,8396 - 0,0634x_1 + 0,1670x_2 - 0,1726x_3 - 0,0088x_1^2 - 0,0424x_2^2 + 0,0495x_3^2 - 0,0800x_1x_2 + 0,0125x_1x_3 + 0,0600x_2x_3$ (0,0000) (0,0579) (0,0003) (0,0002) (0,7698) (0,1805) (0,1242) (0,0654) (0,7507) (0,1502)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	5,84	Coeficiente de determinação (R ²)			0,9046
Desvio padrão	0,11	Coeficiente de variação (C.V.= %)			1,8481
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,842783	0,7675	24,131	0,0001*
Quadrática	3	0,069243	0,0631	1,983	0,1872
Interação	3	0,081250	0,0740	2,326	0,1430
Total da regressão	9	0,993276	0,9046	9,480	0,0013*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,093096	0,018619	6,376	0,0484*
Erro puro	4	0,011680	0,002920		
Total do erro	9	0,104776	0,011642		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado (p≤0,05)}
Linear	0,842783	3	0,2809276	15,088221	5,41
Quadrática	0,069243	3	0,023081	1,2396476	5,41
Interação	0,081250	3	0,0270833	1,4546055	5,41
Total da regressão	0,993276	9	0,110364	5,9274934	4,77
Falta de ajuste	0,093096	5	0,018619	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	5,84	Coeficiente de determinação (R ²)			0,7175
Desvio padrão	0,14	Coeficiente de variação (C.V.= %)			2,3850
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	2	0,787829	0,393914	20,32	0,0001*
Erro	16	0,310224	0,019389		
Total corrigido	18	1,098053			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	5,8384		0,0319		0,0001*
x ₂	0,1670		0,0377		0,0004*
x ₃	-0,1726		0,0377		0,0003*

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 10E. Análise de variância de ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_0 (zero meses de armazenamento) das FIETG das FIETG: comparação de médias pelo Teste de Tukey ♦

Variável dependente: ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_0 (0 meses)					
Média das respostas	0,39	DMS= 0,05	Coeficiente de determinação (R^2)	0,9744	
Desvio padrão	0,02		Coeficiente de variação (C.V.= %)	4,1564	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	20	0,354299	0,017715	68,55	0,0001***
Erro	36	0,009303	0,000258		
Total corrigido	56	0,363602			

Anexo 10F. Análise de variância de ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_1 (2 meses de armazenamento) das FIETG das FIETG: comparação de médias pelo Teste de Tukey ♦

Variável dependente: ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_1 (2 meses)					
Média das respostas	0,45	DMS= 0,05	Coeficiente de determinação (R^2)	0,9813	
Desvio padrão	0,02		Coeficiente de variação (C.V.= %)	3,7852	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob > F
Modelo	20	0,536600	0,026830	94,48	0,0001***
Erro	36	0,010223	0,000284		
Total corrigido	56	0,546823			

Anexo 10G. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t_2 (4 meses de armazenamento)

$y_i = 0,5033 + 0,0591x_1 - 0,0389x_2 + 0,0062x_3 + 0,0095x_1^2 + 0,0064x_2^2 + 0,0289x_3^2 - 0,0225x_1x_2 - 0,0425x_1x_3 - 0,0125x_2x_3$ (0,0000) (0,0221) (0,1025) (0,7778) (0,6680) (0,7713) (0,2096) (0,4419) (0,1630) (0,6655)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	0,53	Coeficiente de determinação (R^2)			0,6449
Desvio padrão	0,08	Coeficiente de variação (C.V.= %)			15,0324
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R^2	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,068918	0,4344	3,670	0,0564
Quadrática	3	0,013638	0,0860	0,726	0,5615
Interação	3	0,019750	0,1245	1,052	0,4162
Total da regressão	9	0,102305	0,6449	1,816	0,1937
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,052817	0,010563	12,004	0,0160*
Erro puro	4	0,003520	0,000880		
Total do erro	9	0,056337	0,006260		
ANOVA MODIFICADA					
Não significativa ao nível de 5% de probabilidade, porém erro experimental pequeno → ajuste do modelo					
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	0,53	Coeficiente de determinação (R^2)			0,3008
Desvio padrão	0,08	Coeficiente de variação (C.V.= %)			15,3479
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	0,047715	0,047715	7,31	0,0150*
Erro	17	0,110927	0,006525		
Total corrigido	18	0,158642			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	0,5263		0,0185		0,0001*
x_1	0,0591		0,0219		0,0150*

X_1 = tempo de germinação (h); X_2 = umidade da farinha (%) e X_3 = temperatura de extrusão (°C)

Anexo 10H. Modelo de regressão completo¹, análise de variância, ANOVA modificada e modelo ajustado para as médias experimentais de ACIDEZ ÁLCOOL-SOLÚVEL – t₃ (6 meses de armazenamento)

$y_1 = 0,6850 + 0,1337x_1 - 0,0815x_2 + 0,1618x_3 + 0,1764x_1^2 - 0,0003x_2^2 + 0,0227x_3^2 + 0,0313x_1x_2 - 0,0713x_1x_3 - 0,1138x_2x_3$					
(0,0000) (0,0071) (0,0637) (0,0023) (0,0013) (0,9934) (0,5713) (0,5504) (0,1909) (0,0503)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	0,83	Coeficiente de determinação (R ²)		0,8750	
Desvio padrão	0,14	Coeficiente de variação (C.V.= %)		17,2095	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R ²	Valor F	Prob>F
Linear	3	0,692120	0,4736	11,365	0,0020*
Quadrática	3	0,434561	0,2974	7,136	0,0094*
Interação	3	0,151938	0,1040	2,495	0,1290
Total da regressão	9	1,278619	0,8750	6,999	0,0039*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,168977	0,033795	9,853	0,0228*
Erro puro	4	0,013720	0,003430		
Total do erro	9	0,182697	0,020300		
ANOVA MODIFICADA					
Regressão	S.Q.	G.L.	Q.M.	F _{calculado}	F _{tabelado} (p≤0,05)
Linear	0,692120	3	0,2307066	6,8266489*	5,41
Quadrática	0,434561	3	0,1448536	4,2862435	5,41
Interação	0,151938	3	0,050646	1,498624	5,41
Total da regressão	1,278619	9	0,1420689	4,2038378	4,77
Falta de ajuste	0,168977	5	0,033795	-	-
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	0,83	Coeficiente de determinação (R ²)		0,7040	
Desvio padrão	0,17	Coeficiente de variação (C.V.= %)		20,5100	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	3	1,028831	0,342944	11,89	0,0003*
Erro	15	0,432485	0,028832		
Total corrigido	18	1,461316			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	0,7031		0,0507		0,0001*
x ₁	0,1337		0,0459		0,0108*
x ₃	0,1618		0,0459		0,0031*
x ₁ x ₁	0,1735		0,0451		0,0016*

X₁= tempo de germinação (h); X₂= umidade da farinha (%) e X₃= temperatura de extrusão (°C)

Anexo 10I. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de HEXANAL – t₀ (0 meses de armazenamento) das FIETG

$y_i = 2,0266 + 0,3092x_1 + 0,7006x_2 - 0,1601x_3 + 0,0832x_1^2 + 0,0726x_2^2 + 0,0335x_3^2 - 0,0350x_1x_2 + 0,0150x_1x_3 - 0,0700x_2x_3$					
(0,0000) (0,0024) (0,0000) (0,0593) (0,2909) (0,3532) (0,6436) (0,7264) (0,8804) (0,4885)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	2,16	Coeficiente de determinação (R ²)		0,9268	
Desvio padrão	0,27	Coeficiente de variação (C.V.= %)		12,6674	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R²	Valor F	Prob>F
Linear	3	8,359115	0,9051	37,074	0,0000*
Quadrática	3	0,148931	0,0161	0,661	0,5967
Interação	3	0,050000	0,0055	0,225	0,8765
Total da regressão	9	8,558847	0,9268	12,653	0,0004*
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	0,474937	0,094987	1,886	0,2793 (OK)
Erro puro	4	0,201480	0,050370		
Total do erro	9	0,676417	0,075157		
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	2,16	Coeficiente de determinação (R ²)		0,8672	
Desvio padrão	0,28	Coeficiente de variação (C.V.= %)		12,7907	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	2	8,009214	4,004607	52,26	0,0001*
Erro	16	1,226049	0,076628		
Total corrigido	18	9,235263			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	2,1642		0,0635		0,0001*
x ₁	0,3092		0,0749		0,0008*
x ₂	0,7006		0,0749		0,0001*

Anexo 10J. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de HEXANAL – t₁ (3 meses de armazenamento) das FIETG

$y_i = 1,8655 - 0,7753x_1 + 1,1716x_2 - 0,8385x_3 + 0,3498x_1^2 + 0,3657x_2^2 + 0,6891x_3^2 - 0,8913x_1x_2 + 0,8388x_1x_3 - 1,0888x_2x_3$					
(0,0000) (0,1115) (0,0258) (0,0887) (0,4466) (0,4269) (0,1513) (0,1550) (0,1781) (0,0904)					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)					
Média das respostas	2,88	Coeficiente de determinação (R ²)		0,7359	
Desvio padrão	1,62	Coeficiente de variação (C.V.= %)		56,4845	
REGRESSÃO	G.L.	S.Q.	R²	Valor F	Prob>F
Linear	3	36,559187	0,4068	4,620	0,0321*
Quadrática	3	8,114570	0,0903	1,025	0,4263
Interação	3	21,465638	0,2388	2,713	0,1074
Total da regressão	9	66,139395	0,7359	2,786	0,0715
RESÍDUO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Falta de ajuste	5	23,488399	4,697680	75,079	0,0005*
Erro puro	4	0,250280	0,062570		
Total do erro	9	23,738679	2,637631		
ANOVA MODIFICADA					
Não significativa ao nível de 5% de probabilidade, porém erro experimental pequeno → ajuste do modelo					
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)					
Média das respostas	2,88	Coeficiente de determinação (R ²)		0,2086	
Desvio padrão	2,05	Coeficiente de variação (C.V.= %)		71,1416	
CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Modelo	1	18,748408	18,748408	4,48	0,0493*
Erro	17	71,129666	4,184098		
Total corrigido	18	89,878074			
PARÂMETRO	Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T
Intercepto	2,8753		0,4693		0,0001*
x ₂	1,1716		0,5535		0,0493*

Anexo 10L. Análise de variância (PROC RSREG) individual das médias dos dados experimentais de HEXANAL (tempo um) para os 14 experimentos e para as 5 repetições no ponto central

Variável dependente:		14 experimentos de HEXANAL (tempo um= 3 meses de armazenamento)	
Média das respostas	3,22	Coefficiente de determinação (R^2)	0,7738
Desvio padrão	2,17	Coefficiente de variação (C.V.= %)	67,4327
Variável dependente:		5 experimentos do ponto central de HEXANAL (tempo um)	
Média das respostas	1,91		
Desvio padrão	0,25	Coefficiente de variação (C.V.= %)	13,0826

Anexo 10M. Modelo de regressão completo¹, análise de variância e modelo ajustado para as médias experimentais de HEXANAL – t₂ (6 meses de armazenamento) das FIETG

$y_i = 1,5277 - 0,4526x_1 + 0,9498x_2 - 0,8913x_3 + 0,2134x_1^2 + 0,2152x_2^2 + 0,5616x_3^2 - 0,9638x_1x_2 + 0,9788x_1x_3 - 0,8038x_2x_3$									
(0,0200) (0,2010) (0,0177) (0,0237) (0,5316) (0,5283) (0,1211) (0,0511) (0,0483) (0,0935)									
ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)									
Média das respostas		2,24		Coeficiente de determinação (R ²)		0,7939			
Desvio padrão		1,21		Coeficiente de variação (C.V.= %)		54,1377			
REGRESSÃO		G.L.	S.Q.	R ²		Valor F		Prob>F	
Linear		3	25,969905	0,4045		5,889		0,0166*	
Quadrática		3	4,735925	0,0738		1,074		0,4079	
Interação		3	20,262237	0,3156		4,595		0,0325*	
Total da regressão		9	50,968068	0,7939		3,853		0,0286*	
RESÍDUO		G.L.	S.Q.	Q.M.		Valor F		Prob>F	
Falta de ajuste		5	13,188226	2,637645		257,3		0,0000*	
Erro puro		4	0,041000	0,010250					
Total do erro		9	13,229226	1,469914					
ANOVA MODIFICADA									
Não significativa ao nível de 5% de probabilidade, porém erro experimental pequeno → ajuste do modelo									
MODELO AJUSTADO (PROC GLM – SAS)									
Média das respostas		2,24		Coeficiente de determinação (R ²)		0,5239			
Desvio padrão		1,48		Coeficiente de variação (C.V.= %)		65,9772			
CAUSA DE VARIAÇÃO		G.L.	S.Q.	Q.M.		Valor F		Prob>F	
Modelo		4	33,633518	8,408379		3,85		0,0259*	
Erro		14	30,563777	2,183127					
Total corrigido		18	64,197295						
PARÂMETRO		Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T			
Intercepto		2,2395		0,3390		0,0001*			
x ₁		-0,4526		0,3998		0,2766			
x ₂		0,9498		0,3998		0,0323*			
x ₃		-0,8913		0,3998		0,0427*			
x ₁ x ₃		0,9788		0,5224		0,0820			
MODELO REAJUSTADO (PROC GLM – SAS)									
Média das respostas		2,24		Coeficiente de determinação (R ²)		0,3609			
Desvio padrão		1,60		Coeficiente de variação (C.V.= %)		71,5026			
CAUSA DE VARIAÇÃO		G.L.	S.Q.	Q.M.		Valor F		Prob>F	
Modelo		2	23,171680	11,585840		4,52		0,0278*	
Erro		16	41,025615	2,564101					
Total corrigido		18	64,197295						
PARÂMETRO		Estimativa		Erro padrão da estimativa		Prob> T			
Intercepto		2,2395		0,3674		0,0001*			
x ₂		0,9498		0,4333		0,0435*			
x ₃		-0,8913		0,4333		0,0564			

Anexo 10N. Análise de variância (PROC RSREG) individual das médias dos dados experimentais de HEXANAL (tempo dois) para os 14 experimentos e para as 5 repetições no ponto central

Variável dependente:		14 experimentos de HEXANAL (tempo dois= 6 meses de armazenamento)	
Média das respostas	2,46	Coefficiente de determinação (R^2)	0,8011
Desvio padrão	1,74	Coefficiente de variação (C.V.= %)	70,0271
Variável dependente:		5 experimentos do ponto central de HEXANAL (tempo dois)	
Média das respostas	1,55		
Desvio padrão	0,10	Coefficiente de variação (C.V.= %)	6,5318

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods. 9 ed. Saint Paul: AACC, 1995.
- ABBEY, B.W.; MARK-BALM, T. Nutritional quality of weaning foods prepared from composite flours of maize, ungerminated and germinated cowpea. **Nutrition Reports International**, v.38, n.3, p.519-526, 1988.
- ABDEL-AAL, E.-S.M.; SOSULSKI, F.W.; ADEL, A. et al. Effect of extrusion cooking on the physical and functional properties of wheat, rice and fababean blends. **Lebensmittel Wissenschaft und- Technologie**, v.25, p.21-25, 1992.
- AHMAD, S.; WAHEED, S.; MANNAN, A. et al. Evaluation of trace elements in wheat and wheat by-products. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists International**, v.77, n.1, p.11-18, 1994.
- AKESON, W.R.; STAHMANN, M.A. A pepsin pancreatin digested index of protein quality evaluation. **Journal of Nutrition**, v.83, n.3, p.257-261, 1964.
- AKINLOSOTU, A.; AKINYELE, I.O. The effect of germination on the oligosaccharide and nutrient content of cowpeas (*Vigna unguiculata*). **Food Chemistry**, v.39, n.2, p.157-165, 1991.
- ALMEIDA-DOMINGUEZ, H. D.; GOMEZ, M.H.; SERNA-SALDIVAR, S.O. et al. Extrusion cooking of pearl millet for production of millet-cowpea weaning foods. **Cereal Chemistry**, v.70, n.2, p.214-219, 1993.
- ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDURY, K.P.; HARPER, J.M. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, v.53, n.2, p.609-615, 1988.
- ANDERSON, L.A.; DIBBLE, M.V.; TURKKI, P.R. et al. **Nutrição**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1988. Cap 10: p.179-187. (Tradução de Nádia M. F. Truggo).
- ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v.14, n.1, p.11-12, 1969.
- ANDERSON, R.A.; PFEIFER, V.F.; BOOKWALTER, G. et al. Instant C.S.M. food blends for worldwide feeding. **Cereal Science Today**, v.16, p.5-11, 1971.
- ANDERSSON, Y.; HEDLUND, B.; JONSSON, L. et al. Extrusion cooking of a high-fiber cereal product with crispbread character. **Cereal Chemistry**, v.58, n.5, p.370-374, 1981.
- ARTEAGA, G.E.; LI-CHAN, E.; VAZQUEZ-ARTEAGA, M.C. et al. Systematic experimental designs for product formula optimization. **Trends in Food Science and Technology**, v.5, n.8, p.243-254, 1994.
- ARTZ, W.E.; WARREN, C.; VILLOTA, R. Twin-screw extrusion modification of a corn fiber and corn starch extruded blend. **Journal of Food Science**, v.55, n.3, p.746-750, 1990.
- ASIEDU, M.; NILSEN, R.; LIE, O. et al. Effect of processing (sprouting and/or fermentation) on sorghum and maize. I. Proximate composition, minerals and fatty acids. **Food Chemistry**, v.46, n.4, p.351-353, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. Compêndio da Legislação de Alimentos. São Paulo: ABIA, 1992.

- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: UNICAMP, 1995. 299p.
- BARTNIK, M.; SZAFRANSKA, I. Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. **Journal of Cereal Science**, v.5, n.1, p.23-28, 1987.
- BASU, T. Studies of health benefits from germinated wheat and its use in development of value added products. 1997. **Alberta Agriculture, Food and Rural Development Home Page**. <http://www.agric.gov.ab.ca/research/ari/matching/97-98/97m105.html>
- BECKMAN INSTRUMENTS. **Instruction manual**. Ed. by Spinco Division of Beckman Instruments Inc., Palo Alto, California, 1977.
- BELÉIA, A.; GROSSMANN, M.V.E. Germinação pré-colheita de trigo: efeitos na qualidade do grão e da farinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.12, p.1797-1804, 1990.
- BENDER, A.E. **Dicionário de nutrição e tecnologia de alimentos**. 4ed. São Paulo: Roca, [s.d.] 212p.
- BERSET, C. Influence de la cuisson-extrusion sur le lipides et les pigments. In: **La cuisson extrusion**. Londres: Lavoisier, 1994. p.142-164
- BETSCHART, A.A. Nutritional quality of wheat and wheat products. In: POMERANZ, Y. **Wheat: chemistry and technology**. 3 ed. Saint Paul: A.A.C.C., 1988. v.2: p.91-129.
- BHATTACHARYA, M.; HANNA, M.A. Extrusion processing of wet corn gluten meal. **Journal of Food Science**, v.50, p.1508-1509, 1985.
- BJÖRCK, I.; ASP, N.-G. Protein nutritional value of extrusion-cooked wheat flours. **Food Chemistry**, v.15, n.3, p.203-214, 1984.
- BJÖRCK, I.; NYMAN, M.; ASP, N.G. Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. **Cereal Chemistry**, v.61, n.2, p.174-179, 1984.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v.37, p.911-917, 1959.
- BOGNAR, A. Determination of thiamine and riboflavin in food by using HPLC. **Deutsche Lebensmittel Rundschau**, v. 77, p.431-436, 1981.
- BOGNAR, A. Determination of vitamin B6 in food by HPLC. **Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung Forschung**, v.181, p.200-205, 1985.
- BOUTRIF, E. Recent developments in protein quality evaluation. **Food Nutrition and Agriculture / Alimentation Nutrition et Agriculture**, Rome, v.2/3, p.36-4, dez. 1991.
- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistics for experimenters**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 653p.
- BRASIL. Decreto nº 12.486, de 20 de outubro de 1978. Aprova normas técnicas especiais à produção de alimentos e bebidas. **Diário Oficial**: (da República Federativa do Brasil), Brasília, 24 jul. 1978. Seção I, pt 1.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. **Norma de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do trigo**. (*Triticum aestivum*, L.): texto legal. Porto Alegre. EMATER/RS. 1994. 12p.

- BRUECHERT, L.J.; ZHANG, Y.; HUANG, T.-C. et al. Contribution of lipids to volatiles generation in extruded corn-based model systems. **Journal of Food Science**, v.53, n.5, p.1444-1447, 1988.
- BRUM, A.L. Avaliação de quatro das nossas principais culturas. **Óleos & Grãos**, n. 40, p.25, jan./fev. 1998.
- BUSHUK, W. Wheat: chemistry and uses. **Cereal Foods World**, v.31, n.3, p.218-226, 1986.
- CAMARGO, C.R.O.; DIAZ, N.M.; GUTIERREZ, R.H. **Curso de tecnologia de extrusão: produtos extrusados e expandidos**. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia "André Tosello", 1988. 40p.
- CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.29, n.1, p.35-57, 1990.
- CHAMP, M. Impact nutritionnel de la cuisson-extrusion. In: **La cuisson extrusion**. Londres: Lavoisier, 1994. p.204-229
- CARPENTER, K.J.; STEINKE, F.H.; CATIGNANI, G.L. et al. The estimation of 'available lysine' in human foods by three chemical procedures. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.39, n.1, p.129-135, 1989.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.
- 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. Campinas: UNICAMP, 1989. 183p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - FEA/UNICAMP, 1989.
- CHAVAN, J.K.; KADAN, S.S. Nutritional improvement of cereals by sprouting. **Critical Reviews in Food Science and Technology**, v.28, n.5, p.401-437, 1989.
- CHAVES, J.B.P. **Controle de qualidade para indústrias de alimentos**. Viçosa: Imprensa da UFV, 1980. p.18-30.
- CHEFTEL, J.C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chemistry**, v.20, n.4, p.263-283, 1986.
- CHEN, J.; SERAFIN, F.L.; PANDYA, R.N. et al. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, v.53, n.1, p.84-89, 1991.
- CLAYTON, T.A.; MORRISON, W.R. Changes in flour lipids during the storage of wheat flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.23, p.721-736, 1972.
- CORDER, A.M.; HENRY, R.J. Carbohydrate degrading enzymes in germinating wheat. **Cereal Chemistry**, v. 66, n.5, p. 435-439, 1989.
- CUNNIFF, P. (Ed.) **OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AOAC INTERNATIONAL**. 16 ed. Arlington: AOAC, 1995. Vol.II, cap.32, p.1-43 (Parte 1).
- DAHLIN, K.; LORENZ, K. Protein digestibility of extruded cereal grains. **Food Chemistry**, v.48, n.1, p.13-18, 1993a.
- DAHLIN, K.M.; LORENZ, K.J. Carbohydrate digestibility of laboratory-extruded cereal grains. **Cereal Chemistry**, v.70, n.3, p.329-333, 1993b.
- DALBY, A.; TSAI, C.Y. Lysine and tryptophan increases during germination of cereal grains. **Cereal Chemistry**, v.53, n.2, p.222-226, 1976.

- DANISOVÁ, C.; HOLOTNÁKOVÁ, E.; HOZOVÁ, B. et al. Effect of germination on a range of nutrients of selected grains and legumes. *Acta Alimentaria*, v.23, n.3, p.287-298, 1994.
- DEL VALLE, F.R. Nutritional qualities of soya protein as affected by processing. *Journal of the American Oil Chemists Society*, v.58, n.3, p.419-429, 1981.
- DESIKACHAR, H.S.R. Development of weaning foods with high caloric density and low hot-paste viscosity using traditional technologies. *Food and Nutrition Bulletin*, v.2, n.4, p.21-23, 1980.
- DRAPRON, R.; ANH, N.G.X.; LAUNAY, B. et al. Development and distribution of wheat lipase activity during the course of germination. *Cereal Chemistry*, v.46, n.6, p.647-655, 1969.
- DRONZEK, B.L.; HWANG, P.; BUSHUK, W. Scanning electron microscopy of starch from sprouted wheat. *Cereal Chemistry*, v.49, n.2, p.232-239, 1974.
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K. et al. Colorimetric method of determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v.28, n.3, p.350-356, 1956.
- EERIKAINEN, T.; LINKO, P. Extrusion, cooking modeling, control, and optimization. In: MERCIER, et al. (Ed.) *Extrusion cooking*. Saint 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., MUNCK, L. (Ed.) *Cereals - a renewable resource: theory and practice*. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p.165-216
- EL-DASH, A.A. *Thermoplastic extrusion of food: theory and techniques*. Monografia. Campinas: UNICAMP/Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, 1982. 81p. (Biblioteca da UNICAMP/FEA - Publicação interna).
- EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. *Journal of Food Engineering*, v.2, n.2, p.129-152, 1983.
- EL-DASH, A.A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. *Extrusion cooking technology*. London: Elsevier, 1984. p.51
- FAO/WHO/UNU expert consultation. *Energy and protein requirements FAO/WHO nutrition meetings*. Geneva: Food and Agriculture Organization / World Health Organization, 1985. Report series 724.
- FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C.; SEIB, P.A. Functionality of grain components in extrusion. *Cereal Foods World*, v.27, n.5, p.212-216, 1982.
- FINNEY, P.L.; RUBENTHALER, G.L. Wheat malts as wheat flour nutrient supplements in bread making. *Bakers' Digest*, v.53, n.5, p.23-25, 27, 1979.
- FLICKINGER, B. (Ed.) The market for extruded foods. *Food Engineering International*, v.16, n.6, p.42-44, 1991.
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Appendix B of the nutrition labeling regulations. *Federal Register*, Washington, v.58, n.3, p.2193-2195, 6th, jan. 1993.
- FREDLUND, K.; ASP, N.-G.; LARSSON, M. et al. Phytate reduction in whole grains of wheat, rye, barley and oats after hydrothermal treatment. *Journal of Cereal Science*, v.25, n.1, p.83-91, 1997.
- FRITSCH, C.W.; GALE, J.A. Hexanal as a measure of rancidity in low fat foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, v.54, n.6, p.225-228, 1977.

- GALLIARD, T. Rancidity in cereal products. In: ALLEN, J.C.; HAMILTON, R.J. **Rancidity in foods**. London: Applied Science, 1983. 199p. Chapter 7: p.109-130.
- GALLOWAY, G.I.; BILIADERIS, C.G.; STANLEY, D.W. Properties and structure of amylose-glycerol monostearate complexes formed in solution or on extrusion of wheat flour. **Journal of Food Science**, v.54, n.4, p.950-957, 1989.
- GERMANI, R.; BENASSI, V.T.; TORREZAN, R. et al. **Curso para laboratoristas da indústria moageira do trigo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CTAA, 22/03 a 02/04/1993.
- GIESE, J. Measuring physical properties of foods. **Food Technology**, v.49, n.2, p.54-63, 1995.
- GIOVANNI, M. Response surface methodology and product optimization. **Food Technology**, v. 37, n.11, p.41-45, 83, 1983.
- GOLPADAS, T.; DESHPANDE, S.; JOHN, C. Studies on a wheat-based amylase-rich food. **Food and Nutrition Bulletin**, v.10, n.3, p.55-59, 1988.
- GOMES, E.P.; SOUSA, C.N.A. de; GUARIENTI, E.M. et al.. **EMBRAPA 16: Uma nova opção para os tricultores do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Passo Fundo: EMBRAPA, CNPT, 1994. 14p. (EMBRAPA-CNPT, Documentos, 18).
- GOMEZ, M.H.; AGUILERA, J.M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **Journal of Food Science**, v.48, n.2, p.378-381, 1983.
- GONZÁLEZ, R.J.; De GREEF, R.L.; TORRES, R.L. et al. Efectos de algunas variables de extrusion sobre la harina de maiz. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.37, n.3, p.578-592, 1987.
- GOPALDAS, T.; MEHTA, P.; PATIL, A. et al. Studies on reduction in viscosity of thick rice gruels with small quantities of an amylase-rich cereal malt. **Food and Nutrition Bulletin**, v.8, n.4, p.42-47, 1986.
- GRACZA, R. Aging and storage studies in flours and air-classified flour fractions. **Cereal Chemistry**, v.42, n.4, p.333-358, 1965.
- GROSSMANN, M.V.E.; EL-DASH, A.A.; TAVARES, D.Q. Efeito das variáveis de extrusão nas propriedades físicas do amido de mandioca. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.32, n.4, p.793-802, 1989.
- GUERIVIERE, J.F.; MERCIER, C.; BAUDET, L. Incidences de la cuisson-extrusion sur certains paramètres nutritionnels de produits alimentaires notamment céréaliers. **Cahiers de Nutrition et de Dietetique**, v.20, p.201-210, 1985.
- GUERRA, M. J. Desenvolvimento de um processo de moagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L., Moench) e de produção de farinhas pré-gelatinizadas. Campinas: UNICAMP, 1984. 206p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - FEA/UNICAMP, 1984.
- GUY, R.C.E. The use of wheat flours in extrusion cooking. In: PMERANZ, Y. (Ed.) **Wheat is unique: structure, composition, processing, end-use properties, and products**. Saint Paul: AACC, 1989. Chapter 21: p.369-378.
- HAMAD, A.M.; FIELDS, M.L. Evaluation of the protein quality and available lysine of germinated and fermented cereals. **Journal of Food Science**, v.44, n.2, p.456-459, 1979.
- HAMILTON, R.J. The chemistry of rancidity in foods. In: ALLEN, J.C.; HAMILTON, R.J. **Rancidity in foods**. London: Applied Science, 1983. Chapter 1: p.1-20.

- HARLAND, F.; OBERLEAS, D. A modified method for phytate analysis using na ion-exchange procedure application to textured vegetable proteins. **Cereal Chemistry**, v.54, n.4, p.827-832, 1977.
- HARPER, J.M. Food extrusion. **CRC-Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.11, n.2, p.155-215, 1979.
- HARPER, J.M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1981. 2v.
- HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v.22, p. 475-476, 1973.
- HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L. **Agricultural process engineering**. 3 ed. Westport: AVI Publishing, 1976. 442p. Chapter 6: Size Reduction. p.130-159.
- HENLEY, E.C.; KUSTER, J.M. Protein quality evaluation by protein digestibility corrected amino acid scoring. **Food Technology**, v.48, n.4, p.74-77, 1994.
- HOLGUIN, M.; NAKAI, S. Accuracy and specificity of the dinitrobenzenesulfonate methods for available lysine in proteins. **Journal of Food Science**, v.45, n.5, p.1218-1222, 1980.
- HOSENEY, R.C. **Principles of cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. 327p., 1986.
- HSIEH, F.; HUFF, H.E.; LUE, S. et al. Twin-screw extrusion of sugar beet fiber and corn meal. **Lebensmittel- Wissenschaft und- Technologie**, v.24, n.6, p.495-500, 1991.
- HUBER, G.R. Carbohydrates in extrusion processing. **Food Technology**, v.43, n.3, p.160-161, 1991.
- HWANG, P.; BUSHUK, W. Some changes in the endosperm proteins during sprouting of wheat. **Cereal Chemistry**, v.50, p.147-160, 1973.
- IFT. INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGISTS. Taking the gamble out of product development. **Food Technology**, v.44, n.6, p.110-117, 1990.
- INTERNATIONAL WHEAT COUNCIL. Grain Market. Report PMR 203, 29th, june 1992.
- JANE, J.-L.; KASEMSUWAN, T.; LEAS, S. et al. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. **Starch**, v.46, n.4, p.121-129, 1994.
- JANSEN, G.R.; O'DEEN, L.; TRIBELHORN, R.E. The calorie densities of gruels made from extruded corn-soy blends. **Food and Nutrition Bulletin**, v.3, n.1, p.39-44, 1981.
- JIN, Z.; HSIEH, F.; HUFF, H.E. Extrusion cooking of corn meal with soy fiber, salt, and sugar. **Cereal Chemistry**, v.71, n.3, p.227-234, 1994.
- JIN, Z.; HSIEH, F.; HUFF, H.E. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudates. **Journal of Cereal Science**, v.22, n.2, p.185-194, 1995.
- JOGLEKAR, A.M.; MAY, A.T. Product excellence through design of experiments. **Cereal Foods World**, v.32, n.12, p.857-868, 1987.
- JOHN, C.; GOPALDAS, T. Reduction in the dietary bulk of soya-fortified bulgur wheat gruels with wheat-based amylase-rich food. **Food and Nutrition Bulletin**, v.10, n.4, p.50-53, 1988.
- JOHNSON, A.H.; GREEN, J. Wheat and flours studies XVIII. A study of the nature of the acid responsible for the increase in acidity which occurs in flours during storage. **Cereal Chemistry**, v.8, n.2, p.134-145, 1931.

- KAKADE, M.L.; LIENER, I.F. Determination of available lysine in protein. *Analytical Biochemistry*, v. 27, p.273-280, 1969.
- KILLEIT, U. Vitamin retention in extrusion cooking. *Food Chemistry*, v.49, n.2, p.149-155, 1994.
- KIM, J.C.; ROTTIER, W. Modification of Aestivum wheat semolina by extrusion. *Cereal Foods World*, v.24, n.2, p.62-64, 66, 1980.
- KISSEL, L.T. Optimization of white layer cake formulations by a multiple-factor experimental design. *Cereal Chemistry*, v.44, n.3, p.253-268, 1967.
- KOKINI, J.L. The effect of processing history on chemical changes in single- and twin-screw extruders. *Trends in Food Science and Technology*, v.4, n.10, p.324-329, 1993.
- KOKINI, J.L.; COCERO, A.M.; MADEKA, H. et al. The development of state diagrams for cereal proteins. *Trends in Food Science and Technology*, v.5, n.9, p.281-288, 1994.
- KOROLKOVAS, A. *Análise farmacêutica*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984. 208p.
- KRAUSE, M.V.; MAHAN, L.K. *Alimentos, nutrição e dietoterapia*. 6 ed. São Paulo: Roca, 1985. 1052p.
- KRUGER, J.E. Enzymes of sprouted wheat and their possible technological significance. In: BUSHUK, W.; RASPER, V.F. (Ed.) *Wheat: production, properties, quality*. London: Chapman & Hall, 1994. 239p. Chapter 10: p.143-153.
- KRUGER, J.E.; MATSUO, R.R. Comparison of alpha-amylase and simple sugar levels in sound and germinated durum wheat during pasta processing and spaghetti cooking. *Cereal Chemistry*, v.59, n.1, p.26-31, 1982.
- KULKARNI, K.D.; KULKARNI, D.N.; INGLE, U.M. Sorghum malt-based weaning food formulations: preparation, functional properties, and nutritive value. *Food and Nutrition Bulletin*, v.13, n.4, p.322-327, 1991.
- KUMAR, A.; CHAUHAN, B.M. Chemical composition and utilization of pearl millet sprouts. *Nahrung*, v.37, n.4, p.356-363, 1993.
- LANE, R.H.; ERICKSON, R.L. Comparison of values derived from selected flours by fat acidity methods of the American Association of Cereal Chemists and the International Organization for Standardization. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, v.71, n.3, p.569-570, 1988.
- LARSSON, M.; SANDBERG, A.-S. Malting of oats in a pilot-plant process. Effects of heat treatment, storage and soaking conditions on phytate reduction. *Journal of Cereal Science*, v.21, p. 87-95, 1995.
- LATTA, M.; ESKIN, M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.28, n.5, p.1313-1315, 1980.
- LEELAVATHI, K.; HARIDAS-RAO, P. Chapati from germinated wheat. *Journal of Food Science and Technology-India*, v.25, n.3, p.162-164, 1988.
- LEELAVATHI, K.; VETRIMANI, R.; HARIDAS-RAO, P. Changes in the functional characteristics of wheat during soaking and subsequent germination. *Journal of Food Science and Technology*, v.27, n.5, p.349-354, 1990.
- LEMAR, L.E.; SWANSON, B.G. Nutritive value of sprouted wheat flour. *Journal of Food Science*, v.41, n.3, p.719-720, 1976.

- LEWIS, M.J. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Zaragoza: Acribia, 1993. 494p.
- LI, M.; LEE, T.-C. Effect of cysteine on the functional properties and microstructures of wheat flour extrudates. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, v.44, n.7, p.1871-1880, 1996.
- LI, W.; LIN, R.; CORKE, H. Physicochemical properties of common and tartary buckwheat starch. *Cereal Chemistry*, v.74, n.1, p.79-82, 1997.
- LIKIMANI, T.A.; SOFOS, J.N.; MAGA, J.A. et al. Methodology to determine destruction of bacterial spores during extrusion cooking. *Journal of Food Science*, v.55, n.5, p.1388-1393, 1990.
- LILLARD, D.A. Effect of processing on chemical and nutritional changes in food lipids. *Journal of Food Protection*, v.46, n.1, p.61-67, 1983.
- LIMA, G.J.M.M.; ZANOTTO, D.L.; PIENIZ, L.C. et al. O trigo na alimentação de suínos e aves. *Comunicado Técnico 221 - Embrapa Suínos e Aves (CNPISA)*. Concórdia-SC; maio/98, p.1-2.
- LINEBACK, D.R.; PONPIPOM, S. Effects of germination of wheat, oats, and pearl millet on alpha-amylase activity and starch degradation. *Starch*, v.29, n.2, p.52-60, 1977.
- LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. High-temperature, short-time extrusion cooking. In: POMERANZ, Y. *Advances in cereal science and technology*. Saint Paul: AACC, 1981. v.4: p.145-235.
- LORENZ, K. Cereal sprouts: composition, nutritive value, food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.13, n.4, p.353-385, 1980.
- LORENZ, K.; AL-RUQAIE, I. Alkylresorcinols in commercial and experimental extruded high fiber breakfast cereals. *Lebensmittel Wissenschaft und- Technologie*, v.25, p.248-252, 1992.
- LORENZ, K.; KULP, K. Sprouting of cereal grains - effects on starch characteristics. *Starch*, v.33, n.6, p.183-187, 1981.
- LORENZ, K.; VALVANO, R. Functional characteristics of sprout-damaged soft white wheat flours. *Journal of Food Science*, v.46, p.1018-1020, 1981.
- LUE, S.; HSIEH, F.; PENG, I.C. et al. Expansion of corn extrudates containing dietary fiber: a microstructure study. *Lebensmittel Wissenschaft und- Technologie*, v.23, n.2, p.165-173, 1990.
- LUKOW, O.M.; BUSHUK, W. Influence of germination on wheat quality. I. Functional (breadmaking) and biochemical properties. *Cereal Chemistry*, v.61, n.4, p.336-339, 1984.
- LUKOW, O.M.; BEKES, F.; BUSHUK, W. Influence of germination on wheat quality. III. Modification of flour lipid. *Cereal Chemistry*, v.62, n.6, p.419-422, 1985.
- MAIA, E.L. Otimização de metodologia para caracterização de constituintes lipídicos e determinação da composição em ácidos graxos e aminoácidos de peixes de água doce. Anexo 1: p.238. Campinas, UNICAMP, 1992. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – FEA/UNICAMP, 1992.
- MALLESCHI, N.G.; DAODU, M.A.; CHANDRASEKHAR, A. Development of weaning food formulations based on malting and roller drying sorghum and cowpea. *International Journal of Food Science and Technology*, v.24, n.5, p.311-319, 1989.
- MARERO, L.M.; PAYUMO, E.M.; LIBRANDO, E.C. et al. Technology of weaning food formulations prepared from germinated cereals and legumes. *Journal of Food Science*, v.53, n.5, p.1391-1395, 1455, 1988a.

- MARERO, L.M.; PAYUMO, E.M.; AGUINALDO, A.R. et al. Nutritional characteristics of weaning foods prepared from germinated cereals and legumes. *Journal of Food Science*, v.53, n.5, p.1399-1402, 1988b.
- MARERO, L.M.; PAYUMO, E.M.; AGUINALDO, A.R. et al. Maltooligosaccharide composition of flours, weaning foods, and gruels prepared from germinated rice, corn, mungbean, and cowpea. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, v.36, n.1, p.55-64, 1990.
- MARERO, L.M.; PAYUMO, E.M.; AGUINALDO, A.R. et al. Vitamin E constituents of weaning foods from germinated cereals and legumes. *Journal of Food Science*, v.56, n.1, p.270-271, 1991a.
- MARERO, L.M.; PAYUMO, E.M.; AGUINALDO, A.R. et al. Antinutritional factors in weaning foods prepared from germinated cereals and legumes. *Lebensmittel Wissenschaft-und-Technologie*, v.24, n.2, p.177-181, 1991b.
- MARSH, S.J.; ANNUK, D.; OZSARAC, N. et al. The effect of wheater damage on wheat enzymes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.45, n.2, p.175-183, 1988.
- MASON, W.R.; HOSENEY, R.C. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chemistry*, v.63, n.5, p.461-441, 1986.
- MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. *The germination of seeds*. 4 ed. Oxford: Pergamon Press, 1989. 270p.
- MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*, v.52, n.3, p.283-297, 1975.
- MEREDITH, P.; POMERANZ, Y. Sprouted grain. In: POMERANZ, Y. (Ed.) *Advances in Cereal Science and Tecnology*. Saint Paul: A.A.C.C, 1985. v.7: p.239-320.
- METIVIER, J.R. Dormência e germinação. In: FERRI, M.G. (Coord.) *Fisiologia vegetal*. São Paulo: EPU:EDUSP, 1979. v.2: p.343-392. (Cap.12).
- MEUSER F. Wheat utilization for the production of starch, gluten and extruded products. In: BUSHUK, W.; RASPER, V.F. (Ed.) *Wheat: production, properties, quality*. London: Chapman & Hall, 1994. 239p. Chapter 13: p.179-204.
- MEUSER, F.; Lengerich, B.V.; KOHLER, F. The influence of extrusion parameters on functional properties of wheat starch. *Starch*, v.34, n.11, p.366-372, 1982.
- MICHELA, P.; LORENZ, K. The vitamins of triticale, wheat and rye. *Cereal Chemistry*, v.53, n.6, p.853-861, 1976.
- MILADI, S.; HEGSTED, D.M.; SAUNDERS, R.M. et al. The relative nutritive value, amino acid content, and digestibility of the proteins of wheat mill fractions. *Cereal Chemistry*, v.49, n.1, p.119-127, 1972.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. Regras para Análise de Sementes. Brasília: CLAV, 1992. Cap.5: p.79-138.
- MINOLTA. *Precise color communication: color control from feeling to instrumentation*. MINOLTA Co., Ltd. 1994.
- MITCHELL, J.R.; AREAS, J.A.G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J.L.; HO, C.-T.; KARWE, M.V. *Food extrusion science and technology*. New York: M.Dekker, 1992. p.345-360

- MOLTEBERG, E.L.; VOGT, G.; NILSSON, A.; FROLICH, W. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. *Cereal Chemistry*, v.72, n.1, p.888-93, 1995.
- MOORE, D.; SANEI, A.; VAN HECKE, E. et al. Effect of ingredients on physical/structural properties of extrudates. *Journal of Food Science*, v.55, n.5, p.1383- 1387, 1402, 1990.
- MOORE, G.L. **Introduction to inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.** Analytical Spectroscopy Library, Amsterdam: Elsevier, 1989. v.3, 338p.
- MORAD, M.M.; RUBENTHALER, G.L. Germination of soft white wheat and its effect in flour fractions, breadbaking, and crumb firmness. *Cereal Chemistry*, v.60, n.6, p.413-417, 1983.
- MOUSSA, W.A.; TADROS, M.D.; MEKHAEL, K.G. et al. Some simple methods of home processing and their implication with weaning foods. *Nahrung*, v.36, n.1, p.26-33, 1992.
- MUNCK, L. Barley for food, feed and industry. In: POMERANZ, Y., MUNCK, L. (Ed.) **Cereals - a renewable resource: theory and practice.** Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p.427-459.
- NARA, A.B.W.; NAZÁRIO, G.; ALMEIDA, M.E.W. et al. (Coord.) **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz.** 2 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1976. v.1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 371p.
- NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biology and Chemistry*, v.153, n.2, p.375-380, 1944.
- NEWPORT CIENTIFIC. **Operation manual for series 3: Rapid visco analyser using Thermocline for Windows.** Warriewood, Australia, june 1995. 92p. (catálogo)
- NYMAN, M.; SILJESTRÖM, M.; PEDERSEN, B. et al. Dietary fiber content and composition in six cereals at different extractions rates. *Cereal Chemistry*, v.61, n.1, p.14-19, 1984.
- OLKKU, J., HAGQUIST, A., LINKO, P. Steady-state modeling of extrusion cooking by RSM. In: JOWITT, R. (Ed.) **Extrusion cooking technology.** London: Elsevier, 1984. p.27.
- PARKER, G.D.; LANE, R.H. Flour acidity comparisons as related to fat acidity methods of the Association of Official Analytical Chemists and the International Organization for Standardization. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, v.73, n.4, p.626-627, 1990.
- PAYTON, S.B.; BALDWIN, R.E.; KRAUSE, G.F. Bread formulation designed for the elderly using response surface methodology. *Journal of Food Science*, v.53, n.1, p.302-303, 1988.
- PEDERSEN, B.; EGGUM, B.O. The influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains. 2. Wheat. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition*, v.33, n.1, p.51-61, 1983.
- PEDERSEN, B.; HANSEN, M.; MUNCK, L. et al. Weaning foods with improved energy and nutrient density prepared from germinated cereals. 2. Nutritional evaluation of gruels based on barley. *Food and Nutrition Bulletin*, v.11, n.2, p.46-52, 1989.
- PERETTI, A. **Manual para analisis de semillas.** Buenos Aires: Hemisfério Sur, 1994. 281 p.
- PETZKE, K.J.; EZEAGU, I.E.; PROLL, J. et al. Amino acid composition, available lysine content and in vitro protein digestibility of selected tropical crop seeds. *Plant Foods For Human Nutrition*, v.50, n.2, p.151-162, 1997.

- PIENIZ, L.C.; ZANOTTO, D.L.; GUIDONI, A.L. et al. Trigo em substituição ao milho em rações para frangos de corte. In: **Anais da XVIII Reunião da Sociedade brasileira de Zootecnia**. Fortaleza-CE: 21 a 26 de julho de 1996.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 467p.
- POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C.M. (Ed.) **Storage of cereal grains and their products**. 2 ed. Saint Paul: AACC, 1974. v.II: 549p. Chapter 2: p.56-114.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2.ed. Brasília: PAX, 1985. 289p.
- PROSKY, L.; ASP, N.-G.; FURDA, I. et al. Determination of total dietary fiber in foods, food products and total diets: interlaboratory study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.67, n.6, p.1044-1052, 1984.
- PROSKY, L.; ASP, N.-G.; FURDA, I. et al. Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.68, p.677-679, 1985.
- PROSKY, L.; ASP, N.G.; SCHWEIZER, T.F. et al. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and foods products: interlaboratory study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.71, n.5, p.1017-1023, 1988.
- PROSKY, L.; ASP, N.G.; SCHWEIZER, T.F. et al. Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and foods products: collaborative study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.75, n.2, p.360-367, 1992.
- QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnología de la panificación**. 2 ed. Zaragoza: Acribia, 1991. 485p.
- RANHOTRA, G.S. Wheat: contribution to world food supply and human nutrition. In: BUSHUK, W.; RASPER, V.F. (Ed.) **Wheat: production, properties, quality**. London: Chapman & Hall, 1994. 239p. Chapter 2: p.12-24.
- RANHOTRA, G.S.; LOEWE, R.J.; LEHMANN, T.A. Breadmaking quality and nutritive value of sprouted wheat. **Journal of Food Science**, v.42, n.5, p.1373-1375, 1977.
- RELATÓRIO DA PESQUISA DO CNPT/Embrapa. Retificação parcial da descrição da cultivar de trigo EMBRAPA 16, dez. 1994. 15p.
- ROSSEN, J.L.; MILLER, R.C. Food extrusion. **Food Technology**, v.27, n.8, p.46-53, 1973.
- RYU, G.H.; WALKER, C.E. The effects of extrusion conditions on the physical properties of wheat flour extrudates. **Starch**, v.47, n.1, p.33-36, 1995.
- RYU, G.H.; NEUMANN, P.E.; WALKER, C.E. Pasting of wheat flour extrudates containing conventional baking ingredients. **Journal of Food Science**, v.58, n.3, p.567-573, 598, 1993.
- SCHLUDE, M. The stability of vitamins in extrusion cooking. In: O'CONNOR, C. (Ed.) **Extrusion technology for the food industry**. Essex: Elsevier, 1987. p.22-24
- SEKHON, K.S.; SINGH, N.; NAGI, H.P.S. Effect of pearling and blending on the bread-making properties of sprout-damaged wheat. **Cereal Foods World**, v.37, n.9, p.715-716, 721-724, 1992.
- SETHI, V.B.; BAINS, G.S. Factors influencing the malting quality of Indian wheat. **Journal of Food Science and Technology-India**; v.15, n.2, p.62-67, 1978.

- SHARMA, S.; NAGI, H.P.S.; SEKHON, K. S. Effect of blending laboratory sprouted grains on milling and baking properties of wheat. **Journal of Food Science and Technology-India**, v.25, n.6, p.330-334, 1988.
- SHARP, P.F. Wheat and flour studies. II. Aging. I. The change in hydrogen-ion concentration of wheat and mill products with age. **Cereal Chemistry**, v.1, n.3, p.117-132, 1924.
- SHASHIKUMAR, K.; HAZELTON, J.L.; RYU, G.H. et al. Predicting wheat sprout damage by near-infrared reflectance analysis. **Cereal Foods World**, v.38, n.5, p.364-366, 1993.
- SHOUP, F.K.; POMERANZ, Y.; DEYOE, C.W. Amino acid composition of wheat varieties and flours varying widely in bread-making potentialities. **Journal of Food Science**, v.31, p.94-101, 1966.
- SHUKLA, T.P. Critical chemistry of extrusion processing of grains. **Cereal Foods World**, v.43, n.1, p.43-44, 1998.
- SILVA, D.J. Determinação da energia bruta. In: SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 1981. p. 27-32.
- SINGH, N.; SEKHON, K.S.; NAGI, H.P.S. Laboratory sprout damage and effect of heat treatment on milling and baking properties of Indian wheats. **Journal of Food Science**, v.52, n.1, p.176-179, 1987.
- SINGH, N.; SEKHON, K.S.; NAGI, H.P.S. Effect of temperature on the extrusion behaviour of flour from sound and sprouted wheat. **Journal of Food Science and Technology-India**, v.31, n.3, p.233-235, 1994.
- SINGH, T.; BAINS, G.S. Grain extract-milk beverage: processing and physicochemical characteristics. **Journal of Food Science**, v.53, n.5, p.1387-1390, 1988.
- SINGH, T.; SOSULSKI, F.W. Malting of hullless barley cultivars and glenea (*T. aestivum*) utility wheat. **Journal of Food Science**, v.50, p.342-346, 1985.
- SOMOGYI, U. A new reagent for the determination of sugars. **Journal of Biology and Biochemistry**, v. 160, n.1, p.61-68, 1945.
- STATISTICA for Windows – Release 5.0 A. StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA, 1995.
- SUR, R.; NAGI, H.P.S.; SHARMA, S. Storage changes in the quality of sound and sprouted flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.44, n.1, p.35-44, 1993.
- SUTHEERAWATTANANONDA, M.; BHATTACHARYA, M.; MOORE, W. et al. Differences in physical properties and microstructure of wheat cultivars in extrusion qualities. **Cereal Chemistry**, v.71, n.6, p.627-631, 1994.
- TAVERNER, M.R.; FARRELL, D.J. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 3. A comparison of ileal availability values with faecal, chemical and enzymic estimates. **British Journal of Nutrition**, v.46, n.1, p.173-180, 1981a.
- TAVERNER, M.R.; FARRELL, D.J. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 4. Factors influencing the availability of amino acids and energy in grains. **British Journal of Nutrition**, v.46, n.1, p.181-192, 1981b.
- THE SAS SYSTEM for Windows 3.95 - Release 6.08. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA, 1992.
- THOMPSON, D. Response surface designs. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 6, n.3, p.155-158, 1982.

- TKACHUK, R. Free amino acids in germinated wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.30, n.1, p.53-58, 1979.
- TSAL, C.Y.; DALBY, A.; JONES, R.A. Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. **Cereal Chemistry**, v.52, n.3, p.356-360, 1975.
- VAINIONPÄÄ, J. Modelling of extrusion cooking of cereals using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.13, n.1, p.1-26, 1991.
- VAN DOKKUM, W.; WESTRA, A.; SCHIPPERS, F.A. Physiological effects of fibre-rich bread. I. The effect of dietary fibre from bread on the mineral balance of young men. **British Journal of Nutrition**, v.47, p.451-460, 1982.
- VILELA, E.R.; EL-DASH, A.A. Extrusão de farinha de guandu (*Cajanus cajan*, Mill sp). 1. Efeitos das variáveis do processo nas características químicas, físicas e físico-químicas dos produtos extrusados. **Revista da SBCTA**, v.7, n.2, p.97-116, 1987.
- WAHED, M.A.; MAHALANABIS, D.; BEGUN, M. et al. Energy-dense weaning foods liquefied by germinated-wheat amylase: effects on viscosity, osmolality, macronutrients, and bacterial growth. **Food and Nutrition Bulletin**, v.15, n.3, p.257-261, 1994.
- WALKER, C.E.; ROSS, A.S.; WRIGLEY, C.W. et al. Accelerated starch-paste characterization with the rapid visco analyser. **Cereal Foods World**, v.33, n.6, p.491-494, 1988.
- WANG, Y.Y.D.; FIELDS, M.L. Germination of corn and sorghum in the home to improve nutritive value. **Journal of Food Science**, v.43, n.4, p.1113-1115, 1978.
- WANG, W.M.; KLOPFENSTEIN, C.F.; PONTE, J.G.Jr. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. **Cereal Chemistry**, v.70, n.6, p.707-711, 1993.
- WASZCZYNSKYJ, N.; RAO, C.S.; DA SILVA, R.S.F. Extraction of proteins from wheat bran: application of carbohydrases. **Cereal Chemistry**, v.58, n.4, p.264-266, 1981.
- WERNER & MERTZ. Behandeln von angekeimten Getreidekoernern fuer die Brotherstellung. GERMAN-FEDERAL-REPUBLIC-PATENT-APPLICATION, Int. Cl² A 21D 2/38 DE 2851 053 C₂; 31.1.80; 25.9.80. Food Science and Technology Abstracts, Shinfield. AN: 80-10-M1134 (CD-ROM) [Treatment of partially germinated grain for breadmaking.]
- WHALEN, P.J.; BASON, M.L.; BOOTH, R.I. et al. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World**, v.42, n.6, p.469-475, 1997.
- WOLZAK, A.; BRESSANI, R.; BRENES, R.G. A comparison of in vivo and in vitro estimates of protein digestibility of native and thermally processed vegetable proteins. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.31, n.1, p.31-43, 1981.
- WU, Y.V.; WALL, J.S. Lysine content of protein increased by germination of normal and high-lysine sorghums. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.28, n.2, p.455-458, 1980.
- YIU, S.H. Food microscopy and the nutritional quality of cereal foods. **Food Structure**, v.12, n.1, p.123-133, 1993.
- ZHOU, J.R.; ERDMAN, J.W. Phytic acid in health and disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.35, n.6, p.495-508, 1995.