



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



PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE PÃO DE FORMA COM TRITICALE E ENZIMA TRANSGLUTAMINASE MICROBIANA

Marco Antonio Lefèvre Gragnani
Engenheiro de Alimentos

Profa. Dra. Fernanda Paula Collares Queiroz
Orientadora

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

Campinas
2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

G759p Gragnani, Marco Antonio Lefèvre
Produção e avaliação de pão de forma com triticale e enzima
transglutaminase microbiana / Marco Antonio Lefèvre Gragnani. --
Campinas, SP: [s.n], 2010.

Orientador: Fernanda Paula Collares-Queiroz
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Pão. 2. Farinhas. 3. Triticale. 3. Transglutaminase microbiana.
4. Tempo de fermentação. 5. Trigo. I. Collares-Queiroz, Fernanda
Paula. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia de Alimentos. III. Título.

cars/bibfea

Título em inglês: Production and evaluation of loaf breads with triticale flour and
microbial transglutaminase enzyme

Palavras-chave em inglês (Keywords): Bread, Flours, Triticale, Microbial transglutaminase,
Fermentation time, wheat

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Fernanda Paula Collares-Queiroz

Gabriela Alves Macedo

Maria Teresa Pedrosa da Silva

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

Este exemplar corresponde à redação final da dissertação de mestrado defendida em ___/___/_____ por Marco Antonio Lefèvre Gragnani aprovado pela comissão julgadora em ___/___/_____

Profa. Dra. Fernanda Paula Collares Queiroz
(Orientadora)

Profa. Dra. Gabriela Alves Macedo
(Membro)

Profa. Dra. Maria Teresa Pedrosa da Silva
(Membro)

Profa. Dra. Flavia Maria Neto
(Membro)

Profa. Dra. Elizabeth Harumi Nabeshima
(Membro)

Para:

Meus avós,
José Eugênio Branco Lefèvre e
Maria Antonieta Cardoso Lefèvre.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento de um projeto de mestrado é muito mais do que uma simples pesquisa. Assim como várias etapas da vida, envolve todo um processo de aprendizagem e superação de desafios e obstáculos que aparecem no decorrer deste tempo em que nos dedicamos à pesquisa em si. E todas essas passagens não seriam as mesmas, se não contássemos com a amizade e a colaboração de dezenas de pessoas que já faziam parte ou que apareceram durante o caminho.

Primeiramente, gostaria de agradecer as pessoas que estiveram comigo desde o início desse projeto. À professora e orientadora Fernanda Paula Collares Queiroz, por acreditar no meu potencial, nos projetos que desenvolvemos nesses anos e por toda a orientação e atenção em todos os momentos.

À grande amiga Juliana Macedo, por me apresentar seus trabalhos sobre a enzima utilizada nessa pesquisa.

À minha família, Fernando, Ana e Maria Isabel: vocês são sempre um porto seguro durante as maiores tormentas, e me sinto honrado de ter vocês em minha vida.

Algumas pessoas foram essenciais no início desse processo, me incentivaram e deram suporte no trabalho para superar as dificuldades e lutar pelos meus sonhos. Agradeço ao carinho e amizade de Valdelice, Patrícia, Adriano e Joelson. Vocês farão sempre parte da minha vida.

Outras pessoas foram essenciais quando tudo virou de cabeça para baixo e a determinação e a coragem de enfrentar as novas escolhas nortearam a minha vida profissional. Agradeço o acolhimento, amizade e parceria de Flávio Martins Montenegro, Silvia Biondi e Denise Jardim, com vocês o ano de 2009 foi uma grata surpresa.

Um especial muito obrigado à toda a equipe do Cereal Chocotec, do Instituto de Tecnologia de Alimentos, em especial à Michele da Paz e Rita Ormenese e ao Moinho São Jorge em especial a Maritânia. Sem o apoio de vocês esse projeto não teria sido possível.

À professora Maria Teresa Clerici, por toda atenção e colaboração neste projeto.

Obrigado à Ajinomoto, pelo fornecimento das enzimas e informações.

Agradeço pela oportunidade de conhecer pessoas fantásticas nas disciplinas cursadas esses anos, novos amigos, que me ajudaram, direta ou indiretamente, a concluir esse trabalho:

Romina, Leandra, Rita, Meg, Márcio entre outros colegas de mestrado, em especial à Leilane, pela paciência em me auxiliar inúmeras vezes nas diversas fases desse projeto.

Agradeço à todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, e aos que tive a oportunidade de rever e conhecer durante o mestrado, todos sempre muito atenciosos, e um agradecimento especial ao professor Pedro de Felício.

Um especial obrigado aos amigos da vida: Pacheco, Drausio, Carlos, Zé, Bruno, Giovana, Marcelão e Flávia.

À Maria Fernanda, parceira nessa vida, pelo amor, paciência e atenção: obrigado!

Obrigado Deus, pela oportunidade de contribuir com a pesquisa em uma universidade com excelência em Engenharia de Alimentos, profissão à qual escolhi me dedicar nessa existência, e que ela possa contribuir de alguma forma para que o nosso mundo seja sempre um pouco mais humano e cheio de paz e amor.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
2. OBJETIVOS	26
2.1 Objetivo geral	26
2.2 Objetivos específicos.....	26
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
3.1 O Pão	27
3.1.1 Ingredientes mais utilizados na fabricação de pães	27
3.1.1.1 Farinha de Trigo.....	28
3.1.1.2 Água	28
3.1.1.3 Fermento biológico.....	28
3.1.1.4 Sal	28
3.1.1.5 Gordura.....	29
3.1.2 Pão de Forma	29
3.1.2.1 Mistura dos Ingredientes.....	30
3.1.2.2 Divisão	30
3.1.2.3 Boleamento.....	30
3.1.2.4 Descanso da massa.....	30
3.1.2.5 Moldagem	30
3.1.2.6 Fermentação final	31
3.1.2.7 Forneamento.....	31
3.1.2.8 Resfriamento.....	31
3.1.2.9 Embalagem.....	31
3.2 Triticale.....	31
3.2.1 Características do triticale	33
3.2.1.1 Cultivo.....	33
3.2.1.2 Composição química.....	34
3.2.1.3 Moagem.....	34
3.2.2 Uso em alimentos	35
3.2.3 Triticale em Pães	36

3.3 Enzima transglutaminase	38
3.3.1. Mecanismo de reação.....	38
3.3.2 Transglutaminase microbiana	39
3.3.3 Aplicação em alimentos	40
3.3.4 MTGase em farinha de trigo e pães	42
3.3.5 Regulamentação da MTGase no Brasil.....	45
4 MATERIAL E MÉTODOS	46
4.1 Matérias-primas.....	46
4.1.1 Farinha de trigo.....	46
4.1.2 Farinha de tritcale.....	46
4.1.3 Enzima Transglutaminase Microbiana.....	46
4.1.4 Demais ingredientes:	46
4.2 Métodos	46
4.2.1 Condicionamento dos grãos.....	46
4.2.2 Moagem do tritcale.....	47
4.2.3 Caracterização das farinhas.....	47
4.2.3.1 Composição centesimal	47
4.2.3.2 Farinografia.....	47
4.2.3.3 Extensografia	48
4.2.3.4 <i>Falling number</i>	48
4.2.3.5 Teor de glúten.....	48
4.2.3.6 Caracterização das misturas de farinhas com MTGase	48
4.2.4 Produção dos pães de forma	48
4.2.4.1 Formulação	48
4.2.4.2 Planejamento experimental.....	49
4.2.5 Produção das amostras	51
4.2.5.1 Mistura dos ingredientes	51
4.2.5.2 Divisão e boleamento.....	51
4.2.5.3 Descanso (fermentação intermediária).....	51
4.2.5.4 Moldagem	51
4.2.5.5 Fermentação Final	51
4.2.5.6 Forneamento.....	52

4.2.5.7 Resfriamento.....	52
4.2.5.8 Embalagem.....	52
4.2.6 Análise das amostras.....	52
4.2.6.1 Volume específico.....	52
4.2.6.2 Teor de Umidade.....	53
4.2.6.3 Atividade de água.....	53
4.2.6.4 Cor.....	53
4.2.6.5 Textura.....	53
4.2.6 Análise estatística dos resultados.....	53
4.2.7 Validação dos pontos.....	54
4.2.8 Análise sensorial.....	54
4.2.9 Vida de prateleira.....	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.1 Moagem do triticale.....	56
5.2 Composição centesimal das farinhas de triticale e trigo.....	57
5.3 Caracterização das farinhas de tricale e trigo.....	58
5.3.1 <i>Falling number</i>	58
5.3.2 Teor de glúten.....	58
5.3.3 Cor.....	59
5.4 Caracterização reológica das farinhas.....	59
5.4.1 Farinografia.....	59
5.4.2 Extensografia.....	60
5.5 Caracterização reológica das misturas: farinha de trigo, triticale e MTGase.....	61
5.5.1 Farinografia.....	61
5.5.1.1 Absorção de água.....	62
5.5.1.2 Tempo de chegada.....	62
5.5.1.3 Tempo de desenvolvimento.....	63
5.5.1.4 Tempo de saída.....	64
5.5.1.5 Estabilidade.....	66
5.5.1.6 Índice de tolerância à mistura (ITM).....	68
5.5.2 Extensografia.....	69
5.5.2.1 Absorção com sal - A.SAL (%).....	70

5.5.2.2 Resistência à extensão - R (UE)	72
5.5.2.3 Resistência máxima - R _{max} (UE)	76
5.5.2.4 Extensibilidade - Ext (mm)	79
5.5.2.5 Número proporcional - D	83
5.5.2.6 Energia - A (cm ²)	86
5.5.2.7 Validação dos dados	88
5.6 Análise dos pães de forma produzidos	89
5.6.1 Volume específico	89
5.6.1.1 Análise dos DDCRs para a resposta <i>volume específico</i>	90
5.6.2 Firmeza	93
5.6.2.1 Análise dos DDCRs para a resposta <i>Firmeza</i>	94
5.6.3 Umidade	98
5.6.3.1 Análise dos DDCRs para a resposta <i>Umidade</i>	99
5.6.4 Atividade de água	102
5.6.4.1 Análise dos DDCRs para a resposta <i>Atividade de água</i>	102
5.6.5 Luminosidade (L*) do miolo	103
5.6.5.1 Análise dos DDCRs para a resposta <i>Luminosidade (L*) do miolo</i>	104
5.6.6 Croma (C*) do miolo	107
5.6.6.1 Análise dos DDCRs para a resposta <i>C*</i>	108
5.6.7 h do miolo	110
5.6.7.1 Análise dos DDCRs para a resposta <i>h</i> do miolo	111
5.7 Escolha dos parâmetros independentes para validação dos modelos	114
5.7.1 Validação da reologia	115
5.7.2 Validação dos pães de forma	117
5.7.3 Vida de prateleira (1, 4 e 7 dias)	121
5.8 Análise sensorial	123
5.8.1 Considerações finais dos resultados da análise sensorial	127
5.9 Análise simples de custo e viabilidade econômica	127
6 CONCLUSÃO	129
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	131
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Composição aproximada do triticale, trigo e centeio (base seca).
- Tabela 2.** Comparativo do rendimento da moagem de trigo e triticale.
- Tabela 3.** Papéis fisiológicos da transglutaminase (TG).
- Tabela 4.** Reatividade da transglutaminase microbiana da Ajinomoto para várias proteínas.
- Tabela 5.** Respostas farinográficas de três cultivares de trigo com ação da MTGase.
- Tabela 6.** Formulação para produção dos pães de forma.
- Tabela 7.** Variáveis independentes e seus respectivos níveis.
- Tabela 8.** Matriz do planejamento experimental com valores codificados e reais.
- Tabela 9.** Rendimento da moagem do triticale.
- Tabela 10.** Composição centesimal da farinha de triticale (IAC-5).
- Tabela 11.** Caracterização das farinhas puras.
- Tabela 12.** Caracterização farinográfica das farinhas de triticale e de trigo.
- Tabela 13.** Caracterização extensográfica das farinhas de triticale e de trigo.
- Tabela 14.** Parâmetros farinográficos das misturas de farinha de trigo, de triticale e MTGase.
- Tabela 15.** Coeficientes de regressão para resposta *tempo de desenvolvimento*.
- Tabela 16.** Coeficientes de regressão para resposta *tempo de saída*.
- Tabela 17.** Teste de ANOVA com coeficientes significativos para a resposta *tempo de saída*.
- Tabela 18.** Coeficientes de regressão para resposta *estabilidade*.
- Tabela 19.** Teste de ANOVA com coeficientes significativos para a resposta *estabilidade*.
- Tabela 20.** Coeficientes de regressão para resposta *ITM*.
- Tabela 21.** Teste de ANOVA para a resposta *ITM*.
- Tabela 22.** Resultados para resposta *absorção com sal (A.SAL)*.
- Tabela 23.** Coeficientes de regressão para resposta *absorção com sal (A.SAL)*.
- Tabela 24.** Teste de ANOVA com coeficientes significativos para a resposta *absorção com sal*.
- Tabela 25.** Resistência das massas nas leituras a 45, 90 e 135 minutos.
- Tabela 26.** Coeficientes de regressão para resposta *R*, nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.
- Tabela 27.** Resultados da ANOVA para *R* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.
- Tabela 28.** Resistência máxima das massas nas leituras após 45, 90 e 135 minutos.
- Tabela 29.** Coeficiente de regressão para resposta *Rmax* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.
- Tabela 30.** ANOVA para resposta *Rmax* nos tempos de leitura 45 e 90 minutos.

Tabela 31. Extensibilidade das massas nas leituras 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 32. Coeficiente de regressão para resposta *extensibilidade* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 33. ANOVA para resposta *Ext* nos tempos de leitura 90 e 135 minutos.

Tabela 34. *Número proporcional (D)* das massas nas leituras 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 35. Coeficientes de regressão para resposta *D* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 36. ANOVA para resposta *D* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 37. Área do gráfico (*A*) nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 38. Coeficientes de regressão para *A* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 39. ANOVA para resposta *A* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 40. Volume específico para os ensaios do planejamento nos tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Tabela 41. Coeficientes de regressão para a resposta *volume específico* dos pães de forma.

Tabela 42. ANOVA para a resposta *volume específico* dos pães de forma.

Tabela 43. Valores de *firmeza* para os planejamentos 35, 70 e 105 minutos.

Tabela 44. Coeficientes de regressão para resposta *firmeza* dos pães de forma.

Tabela 45. ANOVA para resposta *firmeza* dos pães de forma.

Tabela 46. Umidade para os ensaios dos planejamentos com tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Tabela 47. Coeficientes de regressão para resposta *umidade* dos pães de forma para os tempos de fermentação de 30, 70 e 105 minutos.

Tabela 48. ANOVA para resposta *umidade* dos pães de forma para os tempos de fermentação de 30, 70 e 105 minutos.

Tabela 49. *Atividade de água* para os ensaios dos planejamentos com tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Tabela 50. Luminosidade (L^*) para os ensaios dos planejamentos com tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Tabela 51. Coeficientes de regressão para resposta *luminosidade do miolo*.

Tabela 52. ANOVA para a resposta *Luminosidade (L^*)* do miolo.

Tabela 53. Croma (C^*) para os ensaios dos planejamentos com tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

- Tabela 54.** Coeficientes de regressão para resposta *coroma* (C^*) do miolo.
- Tabela 55.** ANOVA planejamento com 35, 70 e 105 minutos de fermentação para a resposta C^* do miolo.
- Tabela 56.** Parâmetro de cor h para os ensaios dos planejamentos com os tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.
- Tabela 57.** Coeficientes de regressão para resposta h do miolo.
- Tabela 58.** ANOVA para a resposta h no planejamento com 105 minutos de fermentação.
- Tabela 59.** Valores das variáveis para validação do modelo.
- Tabela 60.** Dados farinográficos dos pontos da validação e das farinhas puras.
- Tabela 61.** Desvio relativo entre os preditos e experimentais da validação.
- Tabela 62.** Valores da reologia das misturas da validação e desvios relativos.
- Tabela 63.** Média dos resultados da validação e seus respectivos desvios relativos.
- Tabela 64.** Desvio das respostas da validação em relação ao pão padrão da validação.
- Tabela 65.** Teste de Tukey para as respostas *atividade de água e umidade*.
- Tabela 66.** Resultados obtidos no teste para avaliação da aceitabilidade dos produtos de modo global e, em particular, da aparência, aroma, sabor e maciez e na avaliação da intenção de compra das amostras de pão de forma.
- Tabela 67.** Freqüências de aceitação, indiferença e rejeição ao produto de modo global, aparência, aroma, sabor e maciez e freqüências de intenção de compra positiva, indiferente e negativa das amostras de pão de forma avaliadas.
- Tabela 68.** Coeficientes de regressão para resposta *absorção de água*.
- Tabela 69.** Coeficientes de regressão para resposta *tempo de chegada*.
- Tabela 70.** Coeficientes de regressão para resposta *resistência* a 45 minutos.
- Tabela 71.** Coeficientes de regressão para resposta *resistência* a 90 minutos.
- Tabela 72.** Coeficientes de regressão para resposta *resistência* a 135 minutos.
- Tabela 73.** Coeficientes de regressão para resposta *resistência máxima* a 45 minutos.
- Tabela 74.** Coeficientes de regressão para resposta *resistência máxima* a 90 minutos.
- Tabela 75.** Coeficientes de regressão para resposta *resistência máxima* a 135 minutos.
- Tabela 76.** Coeficientes de regressão para resposta *extensibilidade* a 45 minutos.
- Tabela 77.** Coeficientes de regressão para resposta *extensibilidade* a 90 minutos.
- Tabela 78.** Coeficientes de regressão para resposta *extensibilidade* a 135 minutos.
- Tabela 79.** Coeficientes de regressão para *número proporcional* a 45 minutos.
- Tabela 80.** Coeficientes de regressão para resposta *número proporcional* a 90 minutos.

Tabela 81. Coeficientes de regressão para resposta *número proporcional* a 135 minutos.

Tabela 82. Coeficientes de regressão para resposta *energia* a 45 minutos.

Tabela 83. Coeficientes de regressão para resposta *energia* a 90 minutos.

Tabela 84. Coeficientes de regressão para resposta *energia* a 135 minutos.

Tabela 85. Coeficientes de regressão para resposta *vol.esp* 45 minutos.

Tabela 86. Coeficientes de regressão para resposta *vol.esp* 70 minutos.

Tabela 87. Coeficientes de regressão para resposta *vol.esp* 105 minutos (completo).

Tabela 88. Coeficientes de regressão significativos para resposta *vol.esp* 105 minutos.

Tabela 89. Coeficientes de regressão para resposta *firmeza* 35 minutos.

Tabela 90. Coeficientes de regressão significativos para resposta *firmeza* 35 minutos.

Tabela 91. Coeficientes de regressão para resposta *firmeza* 70 minutos.

Tabela 92. Coeficientes de regressão significativos para resposta *firmeza* 70 minutos.

Tabela 93. Coeficientes de regressão para resposta *firmeza* 105 minutos.

Tabela 94. Coeficientes de regressão significativos para resposta *firmeza* 105 minutos.

Tabela 95. Coeficientes de regressão para resposta *umidade* 35 minutos.

Tabela 96. Coeficientes de regressão para resposta *umidade* 75 minutos.

Tabela 97. Coeficientes de regressão para resposta *umidade* 105 minutos.

Tabela 98. Coeficientes de regressão significativos para resposta *umidade* 105 minutos.

Tabela 99. Coeficientes de regressão para resposta *Aw* 45 minutos.

Tabela 100. Coeficientes de regressão para resposta *Aw* 70 minutos.

Tabela 101. Coeficientes de regressão para resposta *Aw* 105 minutos.

Tabela 102. Coeficientes de regressão para resposta *L** 35 minutos.

Tabela 103. Coeficientes de regressão significativos para resposta *L** 35 minutos.

Tabela 104. Coeficientes de regressão para resposta *L** 70 minutos.

Tabela 105. Coeficientes de regressão para resposta *L** 105 minutos.

Tabela 106. Coeficientes de regressão significativos para resposta *L** 35 minutos.

Tabela 107. Coeficientes de regressão para resposta *C** 35 minutos.

Tabela 108. Coeficientes de regressão para resposta *C** 70 minutos.

Tabela 109. Coeficientes de regressão significativos para resposta *C** 70 minutos.

Tabela 110. Coeficientes de regressão para resposta *C** 105 minutos.

Tabela 111. Coeficientes de regressão para resposta *h* 35 minutos.

Tabela 112. Coeficientes de regressão significativos para resposta *h* 35 minutos.

Tabela 113. Coeficientes de regressão para resposta *h* 70 minutos.

- Tabela 114.** Coeficientes de regressão significativos para resposta *h* 70 minutos.
- Tabela 115.** Coeficientes de regressão para resposta *h* 105 minutos.
- Tabela 116.** Coeficientes de regressão significativos para resposta *h* 105 minutos.
- Tabela 117.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos das respostas *tempo de saída e estabilidade*.
- Tabela 118.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *absorção com sal*.
- Tabela 119.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *resistência e resistência máxima* a 90 minutos.
- Tabela 120.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *extensibilidade* a 90 e 135 minutos.
- Tabela 121.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *número proporcional (D)* a 90 e 135 minutos.
- Tabela 122.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *volume específico* nos tempos 70 e 105 minutos.
- Tabela 123.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *firmeza* nos tempos 35, 70 e 105 minutos.
- Tabela 124.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *umidade* nos tempos 35 e 105 minutos.
- Tabela 125.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *L* e C** em 105 minutos.
- Tabela 126.** Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *h* em 70 e 105 minutos.
- Tabela 127.** Coeficiente de correlação de Pearson para as respostas dos pães de forma produzidos no delineamento experimental.
- Tabela 128.** Média das análises de *firmeza* dos pães de forma nos dias 1, 3 e 7 de armazenamento.
- Tabela 129.** Média das análises de *umidade* dos pães de forma nos dias 1, 3 e 7 de armazenamento.
- Tabela 130.** Desgostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de pão de forma (números indicam a frequência com que foram citados).
- Tabela 131.** Gostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de pão de forma (números indicam a frequência com que foram citados).

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fluxograma de produção de pão de forma pelo método direto.
- Figura 2.** Produção de Triticale do estado de São Paulo (CONAB, 2009).
- Figura 3.** Déficit de trigo no mercado brasileiro (ABIMA, 2009b).
- Figura 4.** Reações catalisadas pela TG: ligações cruzadas entre proteínas, incorporação de uma amina livre e hidrólise de um resíduo de glutamina (GERRARD *et al.*, 2001).
- Figura 5.** Efeito da MTGase em massa congelada (HUANG *et al.*, 2008).
- Figura 6.** Curva para resposta *tempo de saída* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por tritcale.
- Figura 7.** Curva para resposta *estabilidade* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por tritcale.
- Figura 8.** Curva para resposta *absorção com sal* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por tritcale.
- Figura 9.** Superfície de resposta e curvas de contorno para resposta *resistência* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por tritcale e da porcentagem de enzima adicionada (base seca de farinha) a 90 minutos.
- Figuras 10.** Superfície de resposta e curvas de contorno para resposta *resistência máxima* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por tritcale e da porcentagem de enzima adicionada (base seca de farinha) a 90 minutos.
- Figuras 11.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para resposta *extensibilidade* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por tritcale e da porcentagem de enzima adicionada (base seca de farinha) nos tempos: (a) 90 minutos e (b) 135 minutos.
- Figura 12.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para resposta *D* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por tritcale e da porcentagem de enzima adicionada (base seca de farinha) nos tempos: (a) 90 minutos e (b) 135 minutos.
- Figura 13.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro *Volume Específico* dos pães de forma em função de tritcale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para: (a) planejamento 70 minutos e (b) planejamento 105 minutos.
- Figura 14.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro *Firmeza* dos pães de forma em função de tritcale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para: (a) planejamento 35 minutos, (b) 70 minutos e (c) 105 minutos.

Figura 15. Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro *Umidade* dos pães de forma em função de tritcale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para: (a) planejamento 35 minutos e (b) planejamento 105 minutos.

Figura 16. Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro L^* dos pães de forma em função de tritcale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para o planejamento com tempo de fermentação de 105 minutos.

Figura 17. Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro C^* do miolo dos pães de forma em função de tritcale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para o planejamento 105 minutos.

Figura 18. (a) Reta para resposta h em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por tritcale e (b) Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro h do miolo dos pães de forma em função de tritcale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para o planejamento com tempo de fermentação igual a 105 minutos.

Figura 19. Pães produzidos na validação dos modelos para os tempos de fermentação de 70 e 105 minutos e o pão padrão produzidos no tempo de fermentação de 105 minutos.

Figura 20. Evolução do valor da resposta *firmeza* dos pães em 1, 3 e 7 dias de vida de prateleira.

Figura 21. Evolução da umidade dos pães em 1, 3 e 7 dias de vida de prateleira.

Figura 22. Leituras de textura instrumental do planejamento 70 minutos: (a) dia 1 e (b) dia 7.

Figura 23. (a) Características dos consumidores quanto à faixa etária, (b) tipo de pão consumido e (c) frequência de consumo dos pães.

RESUMO

A produção e o consumo de pães de forma no Brasil crescem continuamente. Assim como a maioria dos produtos de panificação, sua fabricação requer a utilização de farinhas com características específicas para obtenção de produtos sensorialmente aceitáveis. Até hoje, a farinha de trigo é a única capaz de produzir pães com essas características. Os estudos de substitutos para farinha de trigo esbarram em dificuldades técnicas, que dificultam a formação de uma rede protéica estável, capaz de desempenhar um papel satisfatório na estruturação do pão e na retenção dos gases produzidos durante a fermentação. O triticale, cereal resultante do cruzamento do trigo com centeio, apresenta características bastante semelhantes aos seus progenitores, sem, contudo, ter a capacidade de substituir o trigo em grandes quantidades na produção de pães de forma. A utilização da enzima transglutaminase microbiana (MTGase) na área de panificação já mostrou-se eficiente no fortalecimento da rede de glúten, permitindo, além da utilização de farinhas fracas em produtos que necessitam de farinha forte, a incorporação de novas fontes protéicas nesses alimentos. O objetivo deste projeto foi avaliar a viabilidade tecnológica da utilização da MTGase para produzir pães de forma com a maior substituição de farinha de trigo por farinha de triticale possível, apresentando as mesmas características do pão de forma padrão. Inicialmente, as duas farinhas, foram caracterizadas pela realização de análises reológicas (farinográficas e extensográficas), teor de glúten, *falling number* e cor. Foi realizada a produção de pães de forma padrão, apenas com farinha de trigo, para avaliação de qualidade e estudos comparativos posteriores. Foi elaborado um delineamento composto central rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes: porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale (%TTC) e porcentagem de enzima transglutaminase microbiana em base seca de farinha (%MTGase). O delineamento incluiu onze ensaios, sendo quatro pontos fatoriais, quatro pontos axiais e três pontos centrais. Os resultados foram analisados por Metodologia de Superfície de Resposta. As variáveis dependentes desse estudo foram: (i) características reológicas das farinhas com enzima e (ii) qualidade dos pães de forma produzidos. Os pães foram analisados quanto ao volume específico, firmeza, umidade, atividade de água e cor do miolo (parâmetros L^* , C^* e h). Foi analisada também a influência do tempo de fermentação (35, 70 e 105 minutos) nessas respostas. Pela análise instrumental, observou-se ser inviável a produção dos pães de forma com 35 minutos de fermentação. Para os pães com maiores tempos, os parâmetros de volume

específico e firmeza foram próximos ao pão padrão, mesmo com elevadas porcentagens de substituição da farinha de trigo, devido ao auxílio da enzima. Foram identificadas duas formulações, com quantidades máximas de substituição de farinha de trigo, que mostraram características semelhantes ao pão padrão, uma nos pães assados submetidos a 70 minutos de fermentação (60,64% de substituição de farinha de trigo por triticales e 0,65% de transglutaminase microbiana em base seca da farinha) e outra com 105 minutos de fermentação (71,28% de substituição de farinha de trigo por triticales, e 0,80% de porcentagem de transglutaminase microbiana em base seca da farinha). Essas formulações foram submetidas a testes de aceitação e intenção de compra por 72 provadores, que as avaliaram nos quesitos: modo global, aparência, aroma, sabor e textura. Os resultados mostraram que a substituição da farinha de trigo por triticales com a adição da enzima, em valores iguais aos das duas formulações escolhidas, pode ser realizada sem alterações significativas ($p < 0,05$) na intenção de compra dos consumidores. Entretanto, o pão de forma com 105 minutos de fermentação se mostrou mais próximo ao pão padrão nas análises instrumentais, e uma leve alteração na aceitação da textura foi evidenciada na sensorial obtendo média “gostei” (70 minutos), enquanto o pão padrão e a formulação com 105 minutos de fermentação obtiveram “gostei muito”. O estudo mostrou que é possível substituir até 71,28% de farinha de trigo por triticales, utilizando a enzima transglutaminase microbiana, na produção de pães de forma de qualidade e sem aumentar o custo para os fabricantes.

Palavras-chave: pão de forma, farinha de triticales, transglutaminase microbiana, tempo de fermentação, substitutos de trigo.

ABSTRACT

The production of loaf breads in Brazil grows continuously. Like the majority of the bakery products, its manufacture requires the usage of flour with specific characteristics to result in sensory acceptable products. Until today, wheat flour is the only flour capable to produce loaf breads with those characteristics. Researches for wheat flour substitutes face on technical limitations, that interfere on the formation of a stable protein network, capable to play a satisfactory role in the bread structure and gas retention produced during fermentation. The triticale, a cereal resultant from the crossing of wheat and rye, has very similar characteristics to its progenitors, without, however, the ability to substitute wheat in great quantities in loaf bread production. The use of microbial transglutaminase (MTGase) in bakery products has been studied as an efficient empowering of the gluten network, allowing, besides the usage of weaker flours in products that requires strong flours, the incorporation of new protein sources in those foods. The objective of this project was to evaluate the technological viability to use MTGase to make loaf breads with the highest wheat flour substitution as possible, showing the same characteristics as a wheat flour loaf bread. Initially, both flours were characterized by rheological analysis (farinographics and extensographics), gluten index, falling number and color. Standard loaf bread with 100% wheat flour was produced for later quality evaluation and result comparison. A central composite rotational design (CCRD) was made with two independent variables: substitution percentage of wheat flour by triticale flour (%TTC) and the microbial transglutaminase enzyme percentage on dry flour basis (%MTGase). The design included eleven tests: four factorial points, four axial points and tree central points. The results were analyzed by Response Surface Methodology. The dependent variables were: (i) rheological characteristics of the flours with enzyme and (ii) the quality of the produced loaf breads. The breads were analyzed regarding its specific volume, firmness, humidity, water activity and bread crumb color (parameters L^* , C^* , and h). The influence of fermentation time (35, 70 and 105 minutes) was also studied on those responses. By instrumental analysis, it was found that it is not possible to produce triticale loaf breads with 35 minutes of fermentation. Breads with higher fermentation times presented specific volume and firmness values closer to standard loaf breads, even with high values of wheat flour substitution, due to the usage of the enzyme. Two formulations were identified, with maximum wheat flour substitution, one among the breads with 70 minute fermentation (wheat flour substitution: 60.64%, and microbial transglutaminase

percentage (w/w): 0.65%) and another with 105 minute fermentation (wheat flour substitution: 71.28%, and microbial transglutaminase percentage (w/w): 0.80%). Those formulations were submitted to acceptance tests and intension of purchase by 72 costumers, who evaluated the global aspect, appearance, aroma, flavor and texture. The results shows that the substitution of wheat flour by triticale with addition of microbial transglutaminase, in the same values as the chosen formulations, can be made without significant alteration ($p < 0.05$) in the costumers` purchase intension. However, the loaf breads with 105 minute fermentation were closer to the standard loaf breads in the instrumental analysis, and a light alteration on the texture acceptance was evidenced in the sensorial tests, getting “liked” score (70 minutes), while the standards breads and 105 minute fermentation got “liked a lot”. This study had shown that it is possible to substitute up to 71.28% of wheat flour by triticale, using microbial transglutaminase, to make loaf bread maintaining its quality without increasing the industrial costs.

Key words: loaf breads, triticale flour, microbial transglutaminase, fermentation time, wheat substitute.

1. INTRODUÇÃO

Os pães são uma das principais fontes de energia para os seres humanos. Sua produção e consumo crescem a cada ano com uma grande variedade de formatos e formulações. Assim como a maioria dos produtos de panificação, sua produção requer a utilização de farinhas com características específicas para obtenção de produtos sensorialmente aceitáveis.

O mercado de farinha de trigo no Brasil é bastante oscilante, extremamente dependente de fatores políticos e econômicos. A obtenção de tipos específicos de farinha pode ser trabalhosa, assim como também onerosa na maioria dos casos. A dependência da importação de trigo de outros países, principalmente da Argentina, torna muitas indústrias nacionais reféns dessa oscilação, sendo constante a necessidade de reavaliação de processos e formulações com o objetivo de minimizar as dificuldades tecnológicas causadas pela variação na qualidade deste insumo.

A possibilidade de substituição da farinha de trigo por outras farinhas e da utilização de aditivos em produtos de panificação vem sendo estudada e aplicada há várias décadas. O desenvolvimento da farinha de tritcale, um cereal híbrido do trigo e centeio, cujo processo de cultivo pode ser adaptado a regiões não favoráveis a produção do trigo, levou diversos pesquisadores a estudarem o seu potencial para substituir a farinha de trigo. Já, o uso de oxidantes e redutores nesses produtos possibilitou a flexibilização de muitas restrições no passado. A aplicação de enzimas como proteases, lípases e amilases também auxiliam na correção dessas variações.

Mais recentemente, a utilização da transglutaminase (EC 2.3.2.13), uma enzima capaz de criar moléculas maiores pela união de substratos protéicos menores, chamou a atenção para a possibilidade de fortalecimento e estabilização da rede de glúten em muitos produtos de panificação. Ela aparece nesse cenário com uma nova ferramenta tecnológica, indo na contramão da maioria das enzimas utilizadas em alimentos que quebram o substrato em compostos menores.

A análise da viabilidade tecnológica da utilização da transglutaminase microbiana na produção de pães de forma com farinha de tritcale pode contribuir para o conhecimento científico sobre a ação dessa enzima nos produtos de panificação. Além disso, os resultados podem servir como base para a aplicação deste grão em um produto de grande consumo no

Brasil, tornando-se uma nova opção de matéria-prima, com conseqüente redução da dependência da farinha de trigo. Tais perspectivas podem resultar em um incentivo para plantio de triticales, cuja flexibilidade de cultivo permite seu desenvolvimento em regiões onde a produção de trigo não é favorável.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a viabilidade tecnológica da utilização da enzima transglutaminase microbiana na produção de pão de forma com substituição parcial ou total da farinha de trigo pela farinha de triticales.

2.2 Objetivos específicos

(i) Avaliar a viabilidade de utilização da enzima como adjunto de tecnologia visando corrigir as alterações no produto causadas pela substituição da farinha de trigo pela farinha de triticales.

(ii) Verificar as alterações sofridas na reologia da farinha pela adição da enzima em diferentes porcentagens de substituição de farinha de trigo por farinha de triticales.

(iii) Determinar as faixas de utilização da enzima que proporcionem melhor resultado na produção desses pães.

(iv) Avaliar o efeito de diferentes concentrações enzimáticas e substituição de farinha de trigo pela de triticales nos parâmetros de qualidade: volume específico, firmeza, umidade, atividade de água e cor (L^* , C^* , h) dos pães assados.

(v) Avaliar o efeito do tempo de fermentação dos pães na qualidade dos pães de forma produzidos.

(vi) Evidenciar possíveis alterações na aceitação do produto em decorrência da substituição da farinha de trigo por farinha de triticales.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Pão

A história do pão se confunde com a história do homem. Há cerca de 12.000 anos os seres humanos começavam a comer uma massa crua feita apenas de água e farinha. Contudo, foram os egípcios, por volta de 3.000 anos a.C. que consumiam as primeiras versões da massa fermentada que conhecemos hoje. Em 1202 na Inglaterra, foram adotadas as primeiras normas para regular o preço dos pães e o lucro de seus produtores (ESTELLER, 2004).

Hoje, no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) define Pão como “o produto obtido pela cocção, em condições tecnologicamente adequadas, de uma massa fermentada ou não, preparada com farinha de trigo e ou outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, podendo conter outros ingredientes” (ANVISA, 2009).

O mercado de panificação no Brasil vem crescendo ano após ano, com aumento de 11,04% nas vendas em 2008. O faturamento do setor chegou a R\$ 43,98 bilhões, ultrapassando o número de 63 mil padarias em funcionamento, sendo 20,2% desses estabelecimentos localizados no Estado de São Paulo (ABIP, 2009).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (ABIMA), em 2008 o consumo per capita de pão foi de 29 kg, quantidade que representa quase a metade da porção recomendada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) de 60kg/ano e pouco mais da metade da quantidade indicada pela *Food Agricultural Organization* (FAO) de 50kg/ano (ABIMA, 2009a).

3.1.1 Ingredientes mais utilizados na fabricação de pães

O pão pode ser feito com quatro ingredientes básicos: farinha de trigo, água, fermento e sal. São necessárias duas formas de energia (mecânica e térmica), para que o processo seja concluído. A mistura da farinha com a água forma a rede de glúten, responsável pela retenção dos gases produzidos na fermentação, fase que utiliza os açúcares resultantes da quebra do amido realizada por enzimas presentes na farinha (SLUIMER, 2005). Os itens descritos a seguir apresentam cada um desses quatro ingredientes, além da gordura, cujo uso depende do tipo de pão produzido.

3.1.1.1 Farinha de Trigo

O trigo é o componente principal da maioria das dietas do mundo. Isso ocorre devido a sua adaptação agrônômica, facilidade de estocagem, benefícios nutricionais e a habilidade de sua farinha em produzir alimentos que satisfazem os seres humanos (WRIGLEY, C.W, 2009). Dentre as farinhas utilizadas pela humanidade para a produção de pães, a farinha de trigo é a única que contém glúten suficiente para produzir o pão fermentado que conhecemos hoje (ESTELLER, 2004). Tal característica tornou a demanda por trigo maior que outros cereais como aveia, arroz e centeio.

Além da quantidade adequada de glúten para formação da massa e retenção dos gases da fermentação, o trigo apresenta um balanceamento de enzimas (alfa-amilase, beta-amilase e glucoamilase) responsáveis pela quebra das moléculas de amido, tornando disponíveis açúcares para o consumo das leveduras durante a fermentação da massa (CAUVAIN, 2009).

3.1.1.2 Água

Depois da farinha, a água é o segundo ingrediente mais utilizado nas formulações de pão, em termos de quantidade. Sua utilização determina a consistência da massa e executa um papel muito importante na gelatinização do amido, contribuindo para elasticidade e textura do pão. Sua temperatura é geralmente alterada para controlar a temperatura final da massa, conforme as necessidades de cada processo (SLUIMER, 2005).

3.1.1.3 Fermento biológico

Industrialmente obtido pela seleção de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, atua como agente de crescimento e sabor. É responsável pela fermentação da massa, transformando os açúcares disponíveis em gás carbônico e etanol (SLUIMER 2005). Pode atuar em sinergismo com outros microorganismos com bactérias lácticas (fermentação natural) naturalmente presentes na massa (ESTELLER, 2004).

3.1.1.4 Sal

Segundo a ANVISA entende-se por sal o “cloreto de sódio cristalizado extraído de fontes naturais, adicionado obrigatoriamente de iodo” (ANVISA, 2009). Na massa, geralmente adicionado de 1 a 2% (base farinha), o sal confere aos pães sabor e tem papel importante na formação da rede glúten, na reologia da massa, no controle da fermentação e da atividade de

água, atuando diretamente na vida de prateleira do produto (SLUIMER 2005; ESTELLER, 2004).

3.1.1.5 Gordura

A gordura é um ingrediente opcional na produção dos pães. Quando utilizada, a gordura atua como lubrificantes da massa, melhorador de cor e sabor, além de enriquecer nutricionalmente o produto (ESTELLER, 2004). Podem ser de origem vegetal (soja, palma, milho etc.) ou animal (banha ou manteiga). Dependendo da concentração utilizada, as gorduras conferem aumento do volume do pão, melhora na maciez do produto, das propriedades de conservação e na retenção do ar (EL-DASH; CAMARGO; DIAZ, 1982). Estão disponíveis hoje em versões com teor reduzido de gorduras trans, consideradas nocivas à saúde humana (ANVISA, 2009).

3.1.2 Pão de Forma

Dentre as inúmeras variedades de pães disponíveis hoje no mercado brasileiro, o pão de forma se destaca pela praticidade e pela grande variedade de formulações. Segundo a ANVISA, pão de forma é o “produto obtido pela cocção da massa em formas, apresentando miolo elástico e homogêneo, com poros finos e casca fina e macia” (ANVISA, 2009).

A fabricação de pães de forma pelo método direto de produção é realizada segundo o fluxograma da Figura 1.

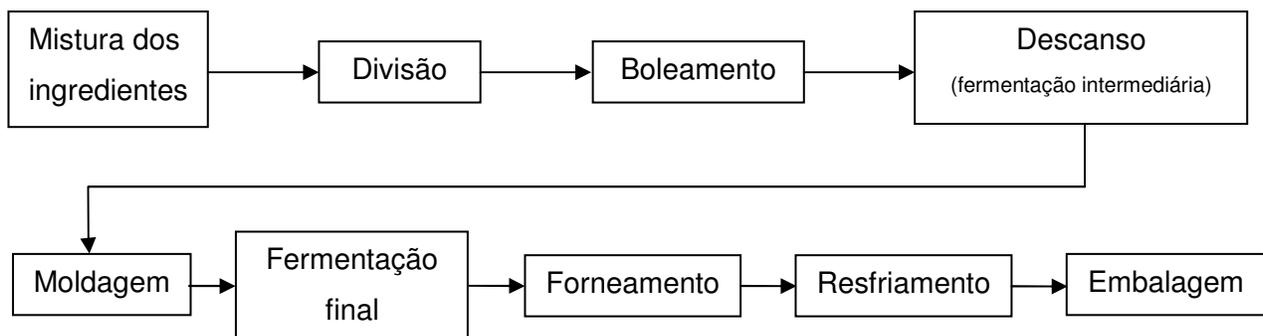


Figura 1: Fluxograma de produção de pão de forma pelo método direto.

3.1.2.1 Mistura dos Ingredientes

Todos os ingredientes da formulação são misturados ao mesmo tempo, para sua homogeneização e aeração. O trabalho mecânico sobre a massa faz com que a rede de glúten se forme, conferindo a consistência adequada para o processo. A mistura deve ser feita de forma controlada, com tempo e força aplicada definidos. O excesso de mistura pode provocar a quebra da rede de glúten, prejudicando a retenção de gases no assamento do pão (EL-DASH, 1982).

3.1.2.2 Divisão

Após a sua completa formação, a massa é retirada do tacho e dividida conforme o tamanho do pão que se deseja produzir. A etapa pode ser manual ou mecânica, baseada no volume. Esta última é mais utilizada em processos industriais (EL-DASH, 1982).

3.1.2.3 Boleamento

A massa é então boleada, para adquirir uma forma arredondada e apresentar uma superfície lisa. Assim como na divisão, esse processo pode ser manual ou mecânico, com utilização de equipamentos apropriados (EL-DASH, 1982).

3.1.2.4 Descanso da massa

Após o boleamento, a massa é descansada por alguns minutos. Durante esse tempo ocorre relaxamento da rede de glúten, de modo que a massa possa readquirir a elasticidade estrutural perdida pelo esforço mecânico sofrido durante as fases de divisão e boleamento. Dependendo do processo, esse tempo pode ser mais extenso, permitindo que ocorra uma fermentação inicial da massa. Quando feito de forma contínua, principalmente na indústria, essa etapa é realizada dentro de câmaras de descanso. Em escala laboratorial ou em padarias, esse processo ocorre à temperatura ambiente, com a utilização de filme plástico sobre as massas para inibir o ressecamento (EL-DASH, 1982).

3.1.2.5 Moldagem

Nessa etapa a massa é achatada, alongada e enrolada sob baixa pressão para obter um formato uniforme, perdendo parcialmente o gás produzido no descanso, e colocada em formas retangulares. A moldagem é geralmente realizada de forma mecânica, garantindo assim a repetibilidade da aparência dos pães (EL-DASH, 1982).

3.1.2.6 Fermentação final

A fermentação final é realizada em câmaras de fermentação, com condições controladas de temperatura e umidade, garantindo que a massa tenha o tempo e as condições suficientes para obtenção da textura e do volume correto para o pão (EL-DASH, 1982).

3.1.2.7 Forneamento

Após a fermentação final o pão é levado para o forneamento em condições de tempo e temperatura controladas. Durante esse processo, ocorre a gelatinização do amido e uma rápida produção de gases antes da morte do fermento, caracterizando o “salto de forno”. Com o avanço do forneamento, ocorre à coagulação das proteínas presentes na massa, fornecendo estrutura física ao pão. Diversas reações químicas ocorrem nesse processo, incluindo as “reações de Maillard”, principais responsáveis pelo escurecimento da massa e formação de odor e sabor característico (EL-DASH, 1982).

3.1.2.8 Resfriamento

Antes da embalagem dos pães, é necessário resfriá-los até que atinjam a temperatura ambiente e, dessa forma, todas as etapas do forneamento sejam encerradas (EL-DASH, 1982).

3.1.2.9 Embalagem

Nesta última etapa, os pães são acondicionados em embalagens plásticas, geralmente com aspersão de conservantes, para inibição da formação de fungos na superfície do pão (EL-DASH, 1982).

3.2 Triticale

Estima-se que a humanidade exista há 2 milhões de anos e que apenas nos últimos 10.000 (menos de 1% desse tempo) ela foi capaz de domesticar animais e plantas. Hoje não vivemos sem a evolução gerada pela criação e cultivo planejado (VARUGHESE; PFEIFFER; PEÑA, 1996). Foi com o avanço dessa capacidade, aliado ao interesse de reunir características de duas espécies diferentes, que surgiu o triticale, o primeiro grão de que se tem notícia, desenvolvido pelo homem (AMMAR, MERGOUM, RAJARAM, 2004).

O triticale é um cereal híbrido resultante do cruzamento entre espécies de trigo e centeio. Seu primeiro relato na literatura foi feito em 1875 por A. S. Wilson, pelo cruzamento da

variedade de trigo "*Triticum spp. L.*" e de centeio "*Secale crude L.*", dando origem ao nome do cereal (triti+cale). As primeiras sementes geradas eram estéreis e seu desenvolvimento foi seguido durante décadas por países como Alemanha, a então União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, Suécia, França, Estados Unidos, Espanha, Hungria, Canadá, México (com a criação do Projeto de Melhoramento do Trigo, que posteriormente se tornou CIMMYT – International Maize and Wheat Improvement Center), Polônia, Austrália, Brasil e Portugal (VARUGHESE, PFEIFFER, PEÑA, 1996).

Apesar dos avanços realizados nos primeiros 85 anos de existência do grão, até a década de 60 ainda se acreditava que o grão teria potencial apenas como um cereal destinado a produção de amidos e para a formulação de rações, principalmente devido a suas vantagens nutricionais (UNRAU; JENKINS; 1964).

O cultivo de tritcale foi oficialmente aprovado no Brasil em 1985, com o lançamento de dois cultivares. O país foi considerado como sendo de grande potencial para produção desse cereal (VARUGHESE, PFEIFFER, PEÑA, 1996). A variedade IAC 5 Canindé, lançada pelo Instituto Agrônomo de Campinas no ano de 2005, é indicada para as condições de cultivo do Estado de São Paulo. Esta variedade apresenta excelentes características de cultivo e possíveis aplicações industriais mais promissoras. Suas principais características são:

- Produtividade média 3.500 a 6.000 kg/há
- Destaca-se pela rusticidade.
- Resistente ao acamamento.
- Resistência à debulha natural e à germinação na espiga.
- Tolerância média ao alumínio tóxico do solo.
- Exigência média em fertilidade do solo.
- Qualidade industrial: mistura com farinha de trigo. (IAC, 2009)

Em um estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (JUNIOR, 2009) para verificar o desempenho de genótipos de tritcale no Brasil, a variedade IAC 5 Canindé apresentou maior rendimento em relação a todas as outras 23 cultivares utilizadas no estudo. Contudo, no mesmo estudo verificou-se que o mesmo apresentou o menor peso por hectolitro dentre as variedades testadas (72,30 kg/hl). Segundo o IAC, para os grãos do cultivar IAC 5 Canindé disponíveis hoje para o plantio, a farinha resultante é de qualidade fraca (IAC, 2009).

3.2.1 Características do triticale

Por ser resultante do cruzamento de duas espécies, trigo e centeio, o triticale apresenta características intermediárias entre os seus progenitores.

3.2.1.1 Cultivo

Muito de seus problemas biológicos iniciais que impediam seu cultivo em larga escala, como a esterilidade parcial, o enrugamento e peso excessivo das sementes, já foram solucionados. Hoje, suas características de produção convergem o melhor de seus progenitores: elevado potencial de cultivo, adaptação em ambientes relativamente secos como o trigo e adaptação ao frio intenso, ambientes áridos e solos ácidos como o centeio (VARUGHESE, PFEIFFER, PEÑA, 1996).

A Figura 2 apresenta os dados de produção do triticale no estado de São Paulo nos últimos anos, mostrando que a produção teve um grande salto na safra de 2005/06 e tem se mantido desde então no patamar próximo a 70 mil toneladas/ano.

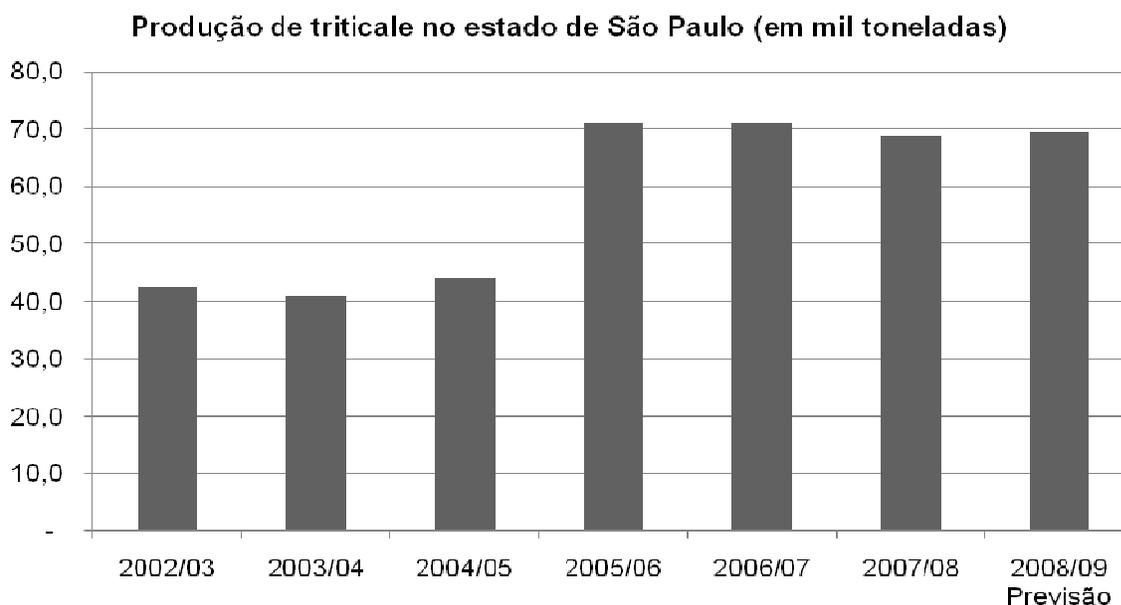


Figura 2. Produção de Triticale do estado de São Paulo (CONAB, 2009).

De acordo com o comunicado da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) CONAB/MOC N.º 015, de 31/07/2009 (CONAB, 2009) que trás as “Normas Específicas para Trigo e Triticale – Safra 2009” o preço mínimo para compra dos grãos de triticale é de 0,2850

reais por kg (peso líquido) de grão, enquanto o trigo com qualidade para panificação tem preço mínimo médio de 0,5363 reais por kg (peso líquido) de grão, sendo, portanto, 46,8% mais barato que o trigo. Essa diferença de custo pode trazer grandes benefícios para a indústria, principalmente a de panificação, onde o trigo é o ingrediente majoritário nas formulações.

3.2.1.2 Composição química

A composição química do triticale é mais próxima a do trigo do que a do centeio, com exceção da quantidade de açúcar livre. Um de seus principais atrativos do ponto de vista nutricional é o melhor balanço de aminoácidos essenciais com destaque para um maior índice de lisina, aminoácido essencial na dieta humana, comparado a demais cereais (PEÑA, 2004). Além disso, sua farinha possuiu maior quantidade de fibras dietéticas solúveis (NAEEM, 2002). Já sua quantidade de proteína pode variar de 10 a 16%. No que diz respeito às enzimas, o triticale apresenta valores acima de seus progenitores: tanto a atividade de alfa-amilase, como de protease, são intensas (PEÑA, 2004).

Varughese *et al.* (1996) apresentam uma compilação de dados da composição de triticale apresentada por diversos autores. A Tabela 1 apresenta algumas dessas composições estudadas.

Tabela 1. Composição aproximada do triticale, trigo e centeio (base seca).

Cereal	Proteína (%)	Amido (%)	Fibra bruta (%)	Extrato de Éter (%)	Açúcar livre (%)	Cinzas (%)
Triticale de primavera ^{a b c}	10,3-15,6	57-65	3,1-4,5	1,5-2,4	3,7-5,2	1,4-2,0
Triticale de inverno ^d	10,2-13,5	53-63	2,3-3,0	1,1-1,9	4,3-7,6	1,8-2,9
Trigo de primavera ^{a b c}	9,3-16,8	61-66	2,8-3,9	1,9-2,2	2,6-3,0	1,3-2,0
Trigo de inverno ^d	11,0-12,8	58-62	3,0-3,1	1,6-1,7	2,6-3,3	1,7-1,8
Centeio de primavera ^{a c}	13,0-14,3	54,5	2,6	1,8	5,0	2,1

a – Peña, R. J., Bates, L.S. (1982); b – Johnson, R., Eason, P. (1988); c – Bushuk, W.; Larter, E.N. (1980); d – Heger, J. Eggum, B. O. (1991); (VARUGHESE *et al.*, 1996).

3.2.1.3 Moagem

Apesar do grão de triticale poder ser moído utilizando tanto as metodologias para moagem de trigo quanto de centeio, o processo utilizado para obtenção da farinha de trigo é mais adequado, resultando em maiores taxas de extração farinha. Contudo, seu rendimento é

um pouco menor (PEÑA, 2004). A Tabela 2 a seguir apresenta os valores de rendimento obtidos por Peña e Amaya (1992) na comparação entre a moagem de grãos de trigo e triticale.

Tabela 2. Comparativo do rendimento da moagem de trigo e triticale.

Amostra	Tipo	Farelinho (%)	Farelo (%)	Farinha (%)
Trigo	Duro	8,64	12,72	74,55
	Semi-duro	10,02	14,33	71,69
Triticale	Semi-duro	13,90	17,07	64,70
	Mole	11,92	16,42	67,53

(PEÑA; AMAYA, 1992).

3.2.2 Uso em alimentos

Segundo Unrau e Jenkins (1962) o triticale foi inicialmente considerado como uma ótima cultura para indústria de amido e rações. Apesar da quantidade de proteína no grão chegar a 16% de seu peso, ela não corresponde a uma boa formação do glúten, apresentando valores de 20 a 30% a menos de glúten que a farinha de trigo (PEÑA, 2004).

Diversos esforços foram feitos ao longo dos anos para aplicação do triticale na indústria de panificação. Problemas na aplicação em *noodles*, massa largamente consumida no continente asiático, foram solucionados com adição de ovos à formulação. Outras aplicações com resultados interessantes são encontrados em produtos onde não há grande exigência de formação do glúten como bolos e *cookies*. Este último apresenta melhor resultado quando adicionado de lecitina (PEÑA, 2004).

Serna-Saldivar et al (2004) realizaram estudo sobre a utilização de farinha de triticale na produção de *tortillas*. Os resultados mostraram ser possível substituir 50% da farinha de trigo sem afetar a textura, cor, sabor e aceitabilidade global das *tortilhas*. Para a produção de *tortilhas* apenas com farinha de triticale, foi necessária a adição de 2% de vital glúten à formulação.

Os grãos de triticale são utilizados também para fins alimentícios menos nobres. Um deles é como substrato para malteação e fermentação de bebidas. Sua alta atividade enzimática, principalmente de alfa-amilase, é extremamente desejada em processos fermentativos, nos quais as cadeias de amido precisam ser quebradas em açúcares menores (PEÑA, 2004).

No Brasil, o triticale é utilizado na produção de *cookies*, pizzas e algumas massas alimentícias. Também é utilizado como ingrediente em misturas multi-grãos e produtos dietéticos. Contudo, o maior uso ainda é feito pela indústria de rações animais (JUNIOR, 2004).

3.2.3 Triticale em Pães

A utilização de outros tipos de farinha que possam substituir a farinha de trigo na produção de pães vem sendo estudada há décadas (JARDINE, 1981). A dependência da farinha de trigo na formulação dos pães se deve principalmente a suas características únicas de formação da massa.

A Figura 3 a seguir, apresenta o déficit de trigo no mercado brasileiro nos últimos anos, indicando que a possibilidade de utilizar outros grãos para produção de alimentos no Brasil poderia, em tese, contribuir de alguma forma com a redução desses valores.

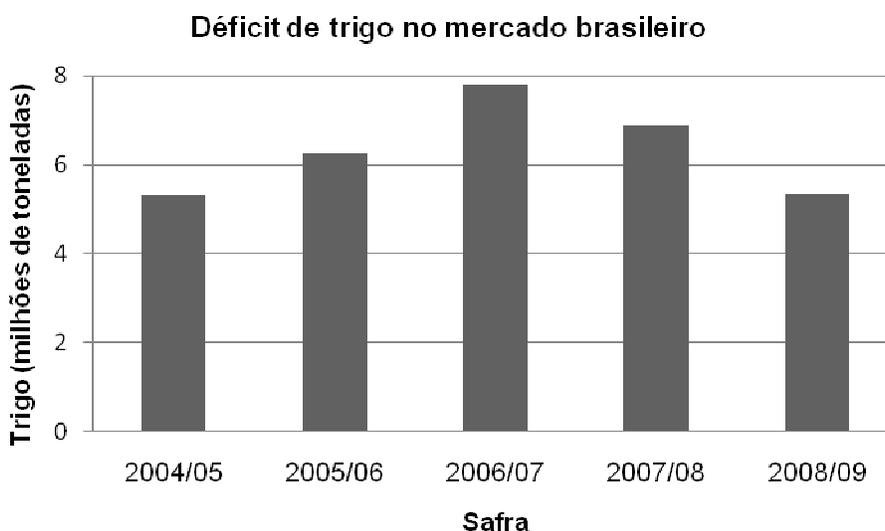


Figura 3. Déficit de trigo no mercado brasileiro (ABIMA, 2009b).

O uso de 100% de farinha de triticale na produção de pães é mais viável em casos onde a produção é feita artesanalmente, para que os ajustes de processo possam ser feitos às características da farinha. Entretanto, a substituição total só pôde ser feita em formulações que já utilizem outras farinhas, como centeio, por exemplo (PEÑA, 2004). O uso do triticale para produção de pães em formulações com 100% de substituição da farinha de trigo ainda é um grande desafio.

A utilização de misturas de farinha de tritcale com farinha de trigo mostrou-se bastante interessante em diversos estudos. Jardine (1981) obteve pães considerados bons, em relação aos pães com 100% de farinha de trigo, com 30% de substituição de farinha de trigo por tritcale. Esse estudo demonstrou que nesse nível de substituição, a farinha de tritcale melhorou a resposta *volume específico* dos pães. Além disso, foram reportadas alterações nas propriedades reológicas com a adição do tritcale. Apesar do tempo de desenvolvimento máximo das farinhas não ter sido alterado, houve redução da estabilidade e da tolerância ao trabalho mecânico. Na extensografia, houve redução em quase todos os parâmetros: resistência a extensão, resistência máxima a extensão, extensibilidade e força total. Apenas o número proporcional sofreu aumento. Naeem *et al.* (2002) também conseguiram 30% de substituição de farinha de trigo por tritcale, apresentando pães com qualidade satisfatória.

Segundo Peña (2004) pães de forma com até 40% de tritcale apresentam qualidades aceitáveis. Já utilizando farinhas de trigo mais fortes do que as normalmente utilizadas para pães, essa substituição pode chegar a 50% sem maiores prejuízos ao volume específico dos pães.

Tohver *et al.* (2005) chegaram a resultados semelhantes, ao estudar farinhas de tritcales obtidas de cultivares do Norte da Europa, em formulações com 30, 50 e 70% de farinha de tritcale. Na comparação com os pães 100% trigo, foi possível utilizar misturas com 50% de farinha de tritcale. A análise sensorial desses pães indicou que a farinha de tritcale pode ser usada como um bom ingrediente em panificação. Todos os pães elaborados com as farinhas dos cultivares de tritcale estudados obtiveram qualidade aceitável.

É importante ressaltar que há grande variação na qualidade de panificação dentre os diferentes cultivares de tritcale existentes no mundo. Para o IAC 5 Canindé, variedade em estudo neste experimento, a recomendação do Instituto Agrônomo de Campinas, responsável pelo seu desenvolvimento, é que a sua utilização para substituição da farinha de trigo nos produtos de panificação deve ser de no máximo 20% (IAC, 2009).

3.3 Enzima transglutaminase

A enzima transglutaminase (TG) (EC 2.3.2.13) é conhecida por catalisar reações de transferência de grupos acil formando ligações cruzadas intra e intermoleculares em proteínas, peptídeos e várias aminas primárias, principalmente pelas ligações covalentes entre resíduos de glutamina e lisina (NONAKA *et al.*, 1989).

A enzima tem sido encontrada em mamíferos, plantas, peixes e bactérias. Em cada uma dessas diferentes fontes, a TG parece desempenhar papéis fisiológicos diferentes, todos envolvendo reações com proteínas (DE JONG; KOPPELMAN, 2002). A Tabela 3 apresenta algumas das associações já feitas à enzima nas diferentes fontes.

Tabela 3. Papéis fisiológicos da transglutaminase (TG).

Fonte de TG	Papéis fisiológicos atribuídos
Mamíferos	Ligações cruzadas de fibrina durante a coagulação do sangue.
Plantas	Formação do citoesqueleto e da parede celular.
Bactérias	Formação da membrana de células esporulares.

Fonte: DE JONG; KOPPELMAN (2002).

3.3.1. Mecanismo de reação

O mecanismo de reação catalisado pela TG é explicado da seguinte forma: o grupo tiol de uma cisteína ataca a cadeia lateral de um resíduo de glutamina acessível no meio protéico. Esse ataque forma um complexo acil-enzima e amônia. Em seguida, uma amina primária entra no lugar da enzima formando uma glutamina carboxamida modificada. Caso a ligação protéica envolva lisina, a ligação cruzada entre peptídeos, intra ou intermolecular, ocorre via N(γ -glutaminil) L-lisina. Essas reações com TG resultam na formação de agregados protéicos irreversíveis (MACEDO; SATO, 2006).

Segundo Macedo e Sato (2006), a formação de polímeros de alta massa molecular, resultantes da reação de formação de ligações cruzadas entre proteínas, parece ser a reação predominante da TG na natureza. Entretanto, existem duas outras reações que também são catalisadas pela TG e que podem ser utilizadas para modificação de

propriedades das proteínas. A primeira delas seria a formação de ligações cruzadas entre aminas primárias com resíduos de glutamina acessível no substrato protéico. Já, na ausência de resíduos de lisina ou outras aminas primárias, a água poderia reagir como nucleófilo, resultando na hidrólise de um resíduo de glutamina, formando um resíduo de glutamato (GERRARD *et al.*, 2001).

Na Figura 4, estão representadas esquematicamente as reações catalisadas pela TG.

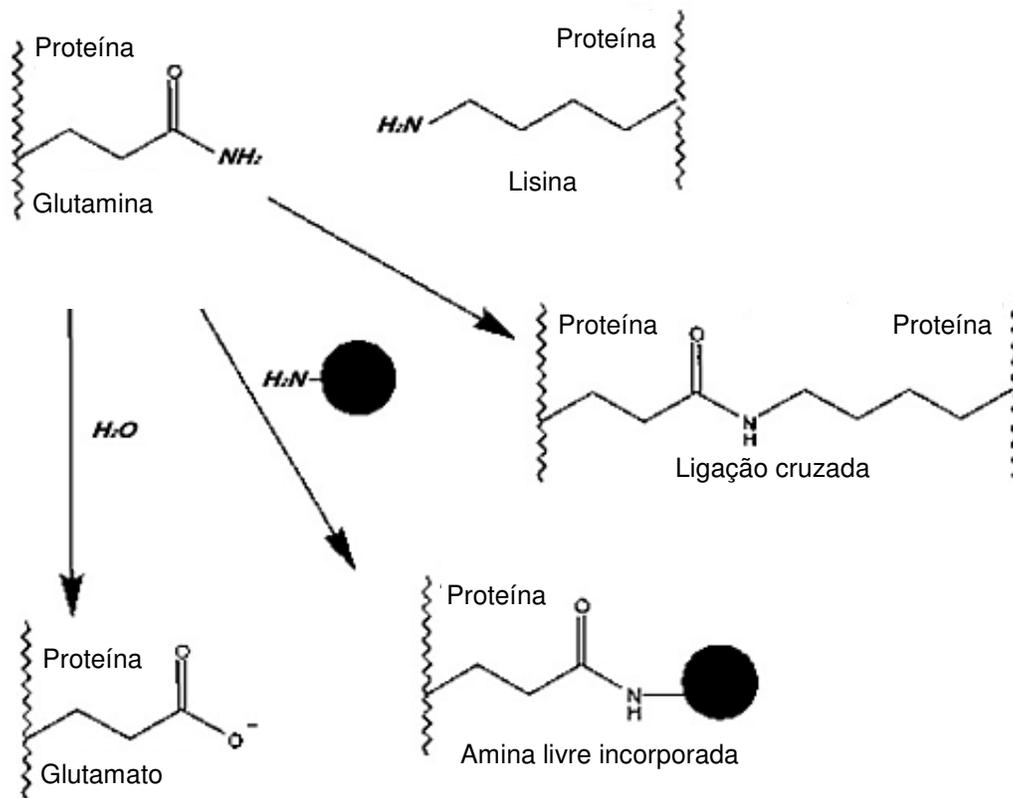


Figura 4. Reações catalisadas pela TG: ligações cruzadas entre proteínas, incorporação de uma amina livre e hidrólise de um resíduo de glutamina (GERRARD *et al.*, 2001).

3.3.2 Transglutaminase microbiana

As primeiras fontes de TG para aplicação industrial foram originadas da extração e purificação da enzima de fluidos e tecidos corporais de animais abatidos para consumo humano como bovinos, suínos e pescados. Contudo, essa fonte de enzima produzia extratos

de coloração avermelhada, pouco interessante para a indústria alimentícia (MACEDO; SATO, 2006).

A partir da década de 80, foi iniciado o desenvolvimento de métodos de produção de TG utilizando-se microorganismos. Surgiu, então, a Transglutaminase Microbiana (MTGase), com menor custo de produção e maior aplicabilidade na indústria de alimentos (ANDO *et al.*, 1989).

Cepas de *Streptovorticillium* sp são as principais fontes de MTGase já estudadas. Sua atividade também foi relatada em estudos com os *Physarum polycephalum*, *Cândida albican*, *Bacillus subtilis*, *Bortedella pertussis* e *E. coli*. Contudo, nem sempre a enzima era extracelular ou excretada em quantidades significativas como nas cepas de *Streptovorticillium* (MACEDO; SATO, 2006). Macedo *et al.* (2007) obtiveram sucesso no isolamento de uma nova cepa de *Streptovorticillium* encontrada em solo brasileiro, com o objetivo de encontrar novas fontes para produção da enzima. Nos testes de caracterização, a enzima extraída apresentou características semelhantes às da enzima disponível comercialmente (MACEDO, 2009).

Segundo Ando *et al.* (1989), a massa molecular da enzima equivale à aproximadamente 38.000 kDa e seu ponto isoelétrico (pI) é igual a 9. O seqüenciamento de proteínas, relatado por Kanaji *et al.* (1993), apresentou em sua estrutura primária 331 aminoácidos. Conforme Macedo e Sato (2006), a MTGase possui apenas um resíduo de cisteína e é definida como uma proteína monomérica e simples.

A MTGase pode ser considerada estável em uma ampla faixa de pH. O pH ótimo de atividade da MTGase é definido entre 5 e 8, com atividade ainda na faixa de 4 a 9. Sua temperatura ótima de ação é definida em 55 °C (10 minutos e pH 6,0). Sua desnaturação foi relatada em alguns minutos a 70 °C. A enzima ainda se encontra ativa a 10 °C e em temperaturas bem próximas à temperatura de congelamento (MACEDO; SATO, 2006).

3.3.3 Aplicação em alimentos

A MTGase tem grande potencial de aplicação na indústria alimentícia. Na área de carnes, tem sido empregada com bastante sucesso para obtenção de carne reestruturada a partir de cortes de menor valor. Em laticínios, a enzima pode ser aplicada para formação de gel resistente ao calor, mais estável, com efeitos positivos na diminuição da sinérese em iogurtes e na produção de requeijão cremoso (MACEDO; SATO, 2006; PICCOLO, 2006). A Tabela 4 apresenta a reatividade da MTGase comercializada no Brasil pela empresa Ajinomoto em diversas fontes de proteínas.

Tabela 4. Reatividade da transglutaminase microbiana da Ajinomoto para várias proteínas.

Alimento	Proteína	Reatividade
Leite	Caseína	★ ★ ★
	Caseinato de Sódio	★ ★ ★
	A-Lactoglobulina	★
	B-Lactoglobulina	★
Ovo	Proteína da Clara (ovoalbumina)	★
	Proteína da Gema	★ ★
Carne	Mioglobina	★
	Colágeno	★ ★
	Gelatina	★ ★ ★
	Miofibrila: Miosina	★ ★ ★
	Miofibrila: Actina	X
Soja	Globulina 11S	★ ★ ★
	Globulina 7S	★ ★ ★
Trigo	Gliadina	★ ★
	Glutenina	★ ★

★ ★ ★ reage muito bem; ★ ★ reage bem; ★ reage dependendo das condições; X em geral não reage.
(SAKAMOTO *et al.*, 2006)

Na área de panificação, a MTGase provoca a formação de ligações covalentes entre as frações de proteína conduzindo a uma melhora nas propriedades visco-elásticas do glúten que têm um efeito positivo no comportamento reológico das massas em geral (CABALLERO *et al.*, 2005).

Diversos estudos utilizaram a MTGase em produtos de panificação para melhorar a qualidade de produtos e matérias-primas. Aalami e Leekavathi (2008) estudaram o efeito da enzima na produção de espaguete obtendo alterações visíveis no comportamento da massa, na qualidade do espaguete seco, nas qualidades de cozimento e na microestrutura dos espaguetes cozidos. Os melhores resultados foram obtidos com a adição da enzima nas farinhas de qualidade inferior, com menor conteúdo de proteína. O estudo mostrou que é possível a utilização de MTGase na produção de massas alimentícias para melhorar sua qualidade em geral sem alterações na maneira tradicional de produção ou dos equipamentos utilizados. Basman *et al.* (2006) também obtiveram sucesso ao utilizar a enzima para produção

de espaguete com farelo em sua formulação. Alp e Bilgiçli (2008) estudaram a enzima para enriquecer a formulação de bolos com outras fontes de proteína com resultados bastante positivos.

Gerrard *et al.* (2000) utilizaram a MTGase na produção de *croissant* e massa folhada. Os resultados mostraram efeitos bastante positivos com 0,5% de enzima (base seca de farinha) tanto no volume dos *croissants* como no crescimento da massa folhada, principalmente com a evolução do tempo de estocagem sob congelamento. Em um estudo semelhante, Hozová *et al.* (2002) utilizaram a MTGase em concentrações inferiores, 0,015% e 0,025% (base seca de farinha), para produção de uma massa para torta fermentada, obtendo melhora na qualidade sensorial e nutricional do produto.

A MTGase também foi utilizada em estudos para desenvolvimento de massas sem glúten. Moore *et al.* (2006) estudaram a adição da enzima nos níveis 0,0; 0,1; 1,0 e 10,0 U/g de proteína, em formulações com farinhas de arroz, batata e milho, goma xantana e várias fontes de proteína (soro de leite em pó, soja e ovo em pó). Os resultados mostraram ser possível criar uma rede de proteínas para a produção de pão sem glúten com a utilização da enzima, sendo que a sua eficiência é dependente da quantidade de enzima e das fontes de proteína usadas.

3.3.4 MTGase em farinha de trigo e pães

Medina-Rodríguez *et al.* (2009) estudaram o efeito da MTGase nas propriedades reológicas nas farinhas de três diferentes cultivares de trigo: Altar (*durum*), Tacupeto (duro) e Cortazar (mole). As concentrações utilizadas foram de 0, 5 e 10 U/g de glúten. Na prática, essas concentrações corresponderam a 0,00; 0,55; e 1,11% de enzima (base seca de farinha) para os trigos duro e mole, e 0,00; 0,56 e 1,12% de enzima (base seca de farinha) para o trigo *durum*.

A Tabela 5 mostra as alterações dos parâmetros farinográficos das farinhas em função do emprego da MTGase. Com exceção da absorção de água (reduzida nos três cultivares), os demais parâmetros farinográficos apresentam respostas diferentes à ação da enzima. Segundo Medina-Rodríguez *et al.* (2009) a farinha de trigo mole pode sofrer um tratamento com maiores quantidades de enzima sem apresentar os efeitos negativos observados nas farinhas mais fortes em tratamentos similares.

Tabela 5. Respostas farinográficas de três cultivares de trigo com ação da MTGase.

Trigo	Absorção d'água	Desenvolvimento da massa	Estabilidade
Durum	redução	redução	sem alteração significativa*
Mole	redução	sem alteração significativa*	aumento
Duro	redução	aumento (5 U/g); redução (10 U/g)	aumento (5 U/g) ; redução (10 U/g)

*($p < 0,05$). (MEDINA-RODRIGUES *et al.* 2009)

Koh e Ng (2009) estudaram o potencial da MTGase para manutenção das características reológicas de farinha de trigo forte adicionada de ácido ferúlico. Esse tipo de ácido fenólico, abundante nos grãos integrais, pode ser readicionado a farinha de trigo causando, entretanto, efeitos redutores na reologia da massa. Este estudo adicionou 0,2% de MTGase (base seca de farinha) em uma farinha forte adicionada de 0,025% de ácido ferúlico (base seca de farinha) nos testes farinográficos e na formulação dos pães. Na concentração utilizada, a enzima não provocou alterações no tempo de mistura com ou sem a adição de ácido ferúlico. Já na massa descansada por 90 minutos, os valores de resistência máxima foram bastante superiores quando adicionados da enzima, principalmente nas massas que sofreram, propositalmente, uma mistura excessiva.

Com um estudo em massa de pão congelada, Huang *et al.* (2008) mostram que com 0,5% de MTGase (base seca de farinha) as massas após cinco semanas à -18 °C apresentaram uma rede de glúten menos fraturada do que as massas controle. Já os pães produzidos com 1,5% de MTGase (base seca da farinha) apresentaram volume específico igual ao pão padrão fresco, após as mesmas cinco semanas à -18 °C. Kim *et al.* (2008) também obtiveram resultados positivos no volume específico e na firmeza de pães congelados, ao usar MTGase em sua formulação.

A Figura 5, a seguir, ilustra os resultado obtidos por Huang *et al.* (2008) nos pães congelados por até 5 semanas á 18 °C.

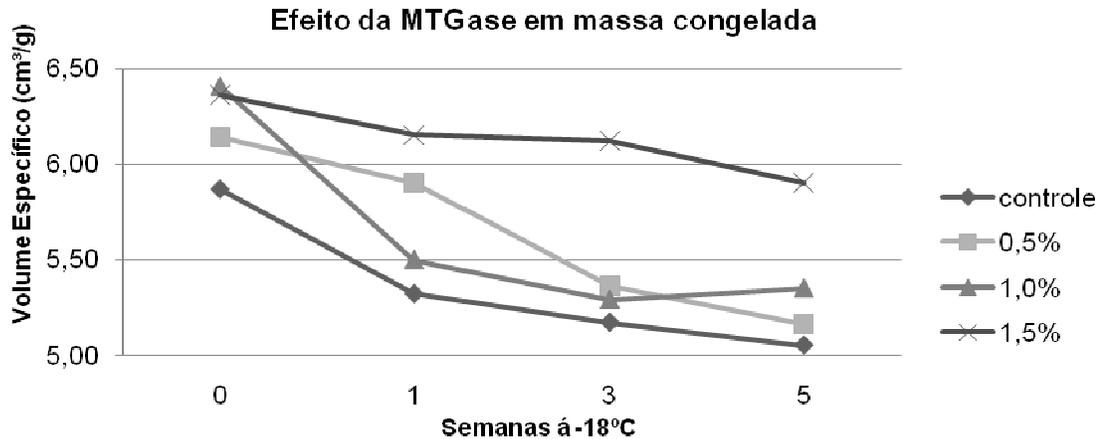


Figura 5. Efeito da MTGase em massa congelada (HUANG et al, 2008).

Basman *et al.* (2002) reportaram benefícios da adição de MTGase na produção de pães com farinhas mais fracas do que as utilizadas regularmente. O estudo verificou o efeito do aumento da concentração de MTGase em seis níveis distintos (0; 0,1%; 0,25%; 0,5%; 1%; 1,5%; base seca de farinha). Foi relatado um aumento significativo no tempo de desenvolvimento e na estabilidade da massa com quantidades intermediárias de enzima. Foi observada também uma menor absorção de água com o aumento da concentração de MTGase, produzindo resultados superiores de manuseio em concentrações inferiores a 0,5% (base seca de farinha). Na produção de pães de forma, foram obtidos resultados positivos da ação da enzima em concentrações de até 0,5% (base seca de farinha). Concentrações maiores provocaram uma piora nos parâmetros de qualidade do produto, tanto em farinha forte como fraca. Em geral, a adição da enzima foi melhor em farinhas mais fracas, tornando possível a produção de pães com a mesma qualidade daqueles produzidos com farinhas mais fortes.

Collar *et al.* (2005) também utilizaram a enzima para produção de pães de forma. Obtiveram melhor coesividade, volume, intensidade de aroma e sabor típico, com a utilização de 0,5% de MTGase (base seca de farinha).

Segundo Gerrard *et al.* (1998) o pão, por apresentar uma estrutura tridimensional de crescimento, é mais afetado por altas concentrações de MTGase. Com o aumento da quantidade de enzima o crescimento do pão passa a ficar comprometido, sendo necessário, portanto, uma dosagem ótima, que supra a deficiência da quantidade e qualidade das proteínas formadoras do glúten, sem que haja comprometimento do crescimento.

3.3.5 Regulamentação da MTGase no Brasil

Segundo a resolução RDC nº 348, de 02 de dezembro de 2003 da ANVISA, a MTGase está incluída na tabela de enzimas cujo parágrafo único informa que o limite de uso dessa enzima será em “*quantum satis*”, ou seja, quantidade suficiente para obter o efeito desejado no alimento (ANVISA, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matérias-primas

4.1.1 Farinha de trigo

A farinha de trigo, para panificação BUNGE PRO PAN 75, foi fornecida pela BUNGE do Brasil (Tatuí – SP).

4.1.2 Farinha de triticale

O cereal da variedade IAC 5 Canindé foi obtido pela moagem de grãos adquiridos da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) (Campinas – SP).

4.1.3 Enzima Transglutaminase Microbiana

A enzima transglutaminase microbiana utilizada nesse experimento foi a Activa STG-M® (mistura de MTGase e amido). Lote 10.4.14, validade 14/04/2010, fornecida pela empresa Ajinomoto do Brasil (São Paulo – SP) – atividade enzimática de 30 U/g (Laudo no Anexo I).

4.1.4 Demais ingredientes:

Ácido ascórbico; Açúcar refinado União; Alfa-amilase, Prozyn (São Paulo – SP); Diacetil tartarato de mono e diglicerídios DATEM, Danisco (Cotia-SP); Fermento biológico seco instantâneo, Fleischmann, (Jundiaí – SP); Gordura vegetal de Palma 370B, Agropalma, (Belém - PA); Sal da marca Cisne.

4.2 Métodos

4.2.1 Condicionamento dos grãos

O condicionamento das sementes de triticale foi realizado até a umidade de 15% (FARREL *et al.*,1974), utilizado-se o método 26-10A da AACCC (2000). Os grãos foram adicionados de água utilizando-se uma bureta aliada ao processo de circulação dos grãos em misturadeira (marca Amadio, tipo 20, São Paulo-SP, Brasil), sendo a quantidade necessária de água calculada segundo a equação (4.1) de acordo com o método 26-95 (AACCC, 2000).

$$Q_a = \frac{P \times (U_2 - U_1)}{(100 - U_2)} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

onde: Q_a = quantidade de água a ser adicionada;

P = quantidade de triticales na porcentagem inicial de umidade U_1 em que será umedecida;

U_1 = porcentagem de água da amostra de triticales antes do umedecimento;

U_2 = porcentagem de água da amostra de triticales após o umedecimento.

Após a adição da água, os grãos de triticales foram acondicionados em sacos plásticos e deixados em descanso por um período de 12 horas, a temperatura ambiente, para completa absorção e uniformização da água adicionada.

4.2.2 Moagem do triticales

A moagem do triticales foi realizada em moinho experimental (BUHLER, modelo MLU-202, Uzwil, Suíça), nas dependências do Moinho São Jorge, na cidade de Santo André - SP, de acordo com o método 26-50 da AACCC (2000). Seus produtos (farinha de quebra, farinha de redução, farelo e farelinho) foram pesados para cálculo do rendimento.

4.2.3 Caracterização das farinhas

Foram realizadas, separadamente para cada uma das farinhas, de trigo e de triticales, as seguintes análises:

4.2.3.1 Composição centesimal

Foi realizada análise de proteína – método 920.87 AOAC (2005); umidade – método 925.10 AOAC (2005); lipídios totais – método 922.06 AOAC (2005); cinzas – método 923.03 AOAC e carboidratos totais foi calculado por diferença: $100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteína} + \text{lipídios totais})$ (HORWITZ, 2006).

4.2.3.2 Farinografia

Utilizando-se o método 54-21 da AACCC (2000), foram avaliados, em triplicata, os parâmetros de absorção de água, tempo de chegada, tempo de desenvolvimento da massa, tempo de saída, estabilidade e índice de tolerância (ITM).

4.2.3.3 Extensografia

Utilizando-se o método 54-10 da AACC (2000), foram avaliados, em triplicata, os parâmetros de resistência à extensão ou elasticidade (R), resistência máxima (R_{max}), extensibilidade (E), número proporcional (D) e o trabalho realizado na massa (A).

4.2.3.4 *Falling number*

O “*Falling number*” foi determinado pela metodologia 56-81B da AACC (2000), utilizando-se o equipamento *Falling Number* (marca Perten Instruments, Huddinge, Suécia) para avaliar a atividade enzimática (α -amilase) presente nas duas farinhas.

4.2.3.5 Teor de glúten

Os teores de glúten úmido e glúten seco foram determinados pelo método 38-12 da AACC (2000), utilizando-se equipamento “Glutomatic e Glutork” (marca Perten Instruments, Huddinge, Suécia).

4.2.3.6 Caracterização das misturas de farinhas com MTGase

Foi realizada a caracterização quanto à reologia (farinografia e extensografia: descritas nos itens 4.2.3.2 e 4.2.3.3) das misturas de farinha de trigo e triticale com a enzima MTGase, que variou conforme delineamento experimental apresentado no item 4.2.4.2.

4.2.4 Produção dos pães de forma

4.2.4.1 Formulação

A formulação base de pão de forma para esse experimento está apresentada na Tabela 6. Para cada ensaio, foram utilizados 5,5 kg de farinha, independente de sua composição em trigo ou triticale, obtendo-se 21 pães de 450 g por ensaio. Seguindo a tendência de mercado nesta formulação, foi utilizada gordura livre de ácidos graxos *trans*.

Tabela 6. Formulação para produção dos pães de forma.

Formulação	
Ingrediente	% (base seca farinha)
Farinha de Trigo*	100
Água**	67,0
Fermento	2,0
Sal	2,0
Açúcar	4,0
Gordura	3,0
DATEM***	0,3
Alfa-amilase	0,003
MTGase	****

* A farinha de trigo foi substituída nos ensaios pela mistura de farinha de trigo e tritcale conforme o delineamento experimental. ** A água foi corrigida conforme análise farinográfica realizada com cada mistura de farinha de trigo, tritcale e enzima. *** DATEM: *Diacetyl tartaric acid esters of monoglyceride*
**** A quantidade de MTGase variou conforme delineamento experimental.

4.2.4.2 Planejamento experimental

Nesta pesquisa, foi utilizado um planejamento fatorial 2^2 , sendo a porcentagem de substituição com farinha de tritcale e a concentração de enzima transglutaminase microbiana as variáveis independentes escolhidas para esse planejamento, com assamentos realizados nas massas após 35, 70 e 105 minutos de fermentação.

Para avaliar o efeito da adição da enzima MTGase na reologia da massa e na produção do pão de forma com tritcale, foi utilizado um delineamento estatístico do tipo composto central rotacional (DCCR) (RODRIGUES; IEMMA, 2005), com níveis das variáveis independentes em (-1,41), -1, 0, +1, (+1,41), conforme valores indicados na Tabela 7.

Tabela 7. Variáveis independentes e seus respectivos níveis.

Variáveis independentes	Níveis					
		-1,41	-1	0	+1	+1,41
Substituição de farinha (%) X_1	x_1	0	14,54	50	85,46	100
Quantidade de MTGase (%)* X_2	x_2	0	0,12	0,40	0,68	0,80

* % em base seca de farinha

No total, foram realizados onze ensaios, sendo os quatro ensaios fatoriais, quatro referentes aos pontos axiais e três pontos centrais. O planejamento foi realizado dentro do menor prazo possível após a realização do primeiro ensaio, para minimizar alterações das características físico-químicas das farinhas em estudo. A Tabela 8, a seguir, apresenta o planejamento experimental, com valores codificados, realizados nesse estudo.

Tabela.8. Matriz do planejamento experimental com valores codificados e reais.

Ensaio	x_1	x_2	X_1	X_2
1	-1	-1	14,54	0,12
2	+1	-1	85,46	0,12
3	-1	+1	14,54	0,68
4	+1	+1	85,46	0,68
5	-1,41	0	0	0,40
6	+1,41	0	100	0,40
7	0	-1,41	50	0
8	0	+1,41	50	0,80
9	0	0	50	0,40
10	0	0	50	0,40
11	0	0	50	0,40

4.2.5 Produção das amostras

O processo de fabricação dos pães de forma, empregado nos ensaios, foi o método convencional de massa direta adaptado, bastante utilizado nas indústrias nacionais. As características específicas utilizadas nesse experimento são apresentadas a seguir:

4.2.5.1 Mistura dos ingredientes

Os ingredientes foram misturados em masseira Suprema (modelo SR 15, São Paulo, Brasil). Primeiramente, a enzima MTGase foi misturada a farinha seca, por 2 minutos. Em seguida, os demais ingredientes foram misturados na masseira por 16 minutos (9 minutos a 90 rpm e 7 minutos a 180 rpm). A dosagem da água foi determinada de acordo com as características reológicas das misturas das farinhas e enzima MTGase, após obtenção do valor de absorção de água na análise farinográfica.

4.2.5.2 Divisão e boleamento

A massa foi submetida à divisão manual, obtendo-se unidades de 450g cada, que foram boleadas manualmente.

4.2.5.3 Descanso (fermentação intermediária)

A fermentação intermediária foi realizada por 15 minutos sobre uma mesa plana, a temperatura ambiente, com a utilização de filmes plásticos sobre as massas, para impedir seu ressecamento.

4.2.5.4 Moldagem

A massa foi achatada, alongada e enrolada sob baixa pressão para obter um formato uniforme com auxílio de uma modeladora (Perfecta Curitiba, modelo 011002226, Curitiba-PR, Brasil).

4.2.5.5 Fermentação Final

A fermentação final foi realizada em câmara de fermentação controlada (marca Perfecta, modelo 126002116, Curitiba-PR, Brasil), com condições de temperatura e umidade relativa de 29-31°C e 80-82%, respectivamente. A fermentação dos pães foi realizada por 35, 70 e 105 minutos, com a retirada de 7 unidades para assamento em cada um desses tempos.

4.2.5.6 Forneamento

A massa de pão de forma foi submetida à temperatura de 180°C por 20 minutos, utilizando forno elétrico com circulação de ar forçada (marca Perfecta, modelo - Vipinho 0448 TRIF, Curitiba, Brasil).

4.2.5.7 Resfriamento

O resfriamento dos pães de forma foi realizado a temperatura ambiente, em prateleiras adequadas, por aproximadamente 5 horas.

4.2.5.8 Embalagem

Após o resfriamento, os pães foram fatiados e embalados em sacos de polipropileno e fechados após aspersão de conservante à base de ácido sórbico.

4.2.6 Análise das amostras

As amostras de cada ensaio do delineamento, nos diferentes tempos de fermentação, foram analisadas nos dia 1 de armazenamento, conforme procedimentos de análise descritos nos itens 4.2.6.1 a 4.2.6.5.

4.2.6.1 Volume específico

O volume específico foi determinado pelo método 10-11 da AACC (2000) com modificações. Após a pesagem das amostras em balança semi-analítica (Ohaus, modelo TP4KD, Nova Jersey, EUA), o volume dos pães assados foi medido, em triplicata, pelo método de deslocamento de sementes de colza, no equipamento Medidor Volumétrico (Vondel Ind. e Com, modelo MDMV03, São José dos Pinhais-PR, Brasil). O cálculo do volume específico foi realizado utilizando a equação abaixo:

$$V_{esp} = \frac{V}{m} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Onde:

V_{esp} é o volume específico (cm³/g);

V é o volume do pão (cm³);

m é a massa do pão (g).

4.2.6.2 Teor de Umidade

A amostra foi preparada de acordo com o método 62-05 da AACC (2000) e, em seguida, sua umidade determinada segundo método 44-15 da AACC (2000), em triplicata.

4.2.6.3 Atividade de água

A atividade de água das amostras foi determinada, em triplicata, pela medida direta em higrômetro (Decagon, modelo CX-2T, Pullman, EUA) à temperatura constante ($25,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$);

4.2.6.4 Cor

A cor do miolo dos pães foi determinada pela leitura em colorímetro (Konica Minolta, modelo CR 410, Tóquio, Japão), seguindo o método apresentado no manual do equipamento, com leituras realizadas em ângulo de 90° e iluminante padrão D_{65} . Foi utilizado o sistema $L^* C^* h$, o qual é a representação polar do sistema de coordenadas $L^* a^* b^*$. Foram utilizadas 10 fatias de cada pão analisado.

4.2.6.5 Textura

A textura foi analisada, segundo o método 74-09 da AACC (2000), em um texturômetro (SMS, modelo TA-XT2i, Godalming/Surrey, UK). Para a análise, utilizou-se o probe SMS P/36R na plataforma HDP/90, nas seguintes conduções de operação: medida de força em compressão, velocidade de pré-teste: 1,0 mm/s, velocidade de teste: 1,7 mm/s, velocidade de pós-teste: 10,0 mm/s, distância de penetração de 40%. Foram realizadas 10 leituras de cada amostra.

4.2.6 Análise estatística dos resultados

Os dados obtidos no planejamento experimental foram analisados segundo a metodologia de superfície de resposta, utilizando o programa Statistica 7.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Os resultados foram analisados mediante o teste p (grau de significância estatística de 95%), para cada um dos coeficientes obtidos. Em seguida, foi realizada a análise de variância do modelo (ANOVA). A partir da equação de regressão obtida, foram tiradas as superfícies de resposta, para obtenção dos pontos ótimos do experimento, cujo resultado desejado é o pão com a maior substituição de farinha de trigo por farinha de tritcale possível, que apresente as mesmas características do pão padrão, que utiliza apenas farinha de trigo em sua formulação.

4.2.7 Validação dos pontos

Após a análise estatística dos dados, foi realizada a validação dos pontos ótimos, e nessas amostras foram realizados os testes analíticos descritos nos itens anteriores, além da análise sensorial e de vida de prateleira, descrito nos itens 4.2.8 e 4.2.9, respectivamente.

4.2.8 Análise sensorial

Foi realizada análise sensorial de três formulações de pão de forma, sendo duas escolhidas na faixa ótima do delineamento, referente à validação dos pontos, e uma de formulação padrão sem a adição de farinha de tritcale.

Para a avaliação sensorial, foram recrutados 72 consumidores de pão de forma, sem restrições quanto à idade, sexo, classe social e frequência de consumo. As amostras foram servidas em guardanapos descartáveis, acompanhadas de água mineral natural para uso antes e entre as amostras para a limpeza do palato.

As amostras foram avaliadas quanto à aceitabilidade de modo global e, em particular, da aparência, aroma, sabor e maciez por meio de escala hedônica de nove pontos (9 = gostei muitíssimo, 5 = não gostei nem desgostei e 1 = desgostei muitíssimo) e quanto à intenção de compra pela escala de 5 pontos (5 = certamente compraria, 3 = talvez comprasse, talvez não comprasse, 1 = certamente não compraria). Foi solicitado ainda que os consumidores descrevessem os gostos e desgostos associados a cada amostra.

As amostras foram avaliadas de forma monádica seqüencial, identificadas com códigos de três dígitos aleatórios, segundo um delineamento de blocos completos balanceados. Os testes foram conduzidos em cabines individuais com iluminação de lâmpadas fluorescentes e equipadas com o sistema computadorizado *Compusense Five versão 4.8*, para coleta das avaliações. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de *Tukey* para comparação de médias.

Além das questões relacionadas à avaliação dos produtos, os consumidores responderam a questões pessoais e sobre hábitos de consumo de pão de forma. O Anexo II apresenta as perguntas realizadas pelo programa.

Para a realização da análise sensorial, os julgadores assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Unicamp (parecer 292/2009), presente também no Anexo II.

4.2.9 Vida de prateleira

Os pães produzidos, depois de embalados, foram armazenados à temperatura ambiente e avaliados após 1, 4 e 7 dias de armazenamento, com relação ao teor de umidade e textura, cujas metodologias foram descritas anteriormente nos itens 4.2.6.2 e 4.2.6.5, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Moagem do triticale

Os grãos de triticale apresentaram umidade inicial de $13,98 \pm 0,06$ %. Para chegar à umidade ideal de moagem os grãos foram condicionados, segundo procedimento de Farrel *et al.* (1974), para 15,0 % de umidade. A Tabela 9 apresenta os rendimentos das frações obtidos na moagem do triticale.

Tabela 9. Rendimento da moagem do triticale.

Fração	% (com base no peso total dos produtos)	% (com base no peso da amostra)
Farinha (quebra + redução)	55,52%	53,54%
Farelo	16,10%	15,53%
Farelinho	28,38%	27,37%

O rendimento total do processo de moagem apresentou resultado adequado, com apenas 3,57% de perda. Contudo, o rendimento de extração da fração de farinha, composta pelas farinhas de quebra e farinha de redução, foi abaixo do esperado. Valores obtidos por Jardine (1981) e Peña e Amaya (1999), foram de 64,37% e 64,70%, respectivamente, enquanto o rendimento obtido nesse experimento foi de 55,52%. Em comparação com os rendimentos obtidos pelos mesmos autores para a moagem do trigo, o resultado obtido é, em média, 25,47% menor. A diferença entre as porcentagens de rendimento de extração da farinha de triticale pode ter sido causada pela diferença entre os cultivares estudados e também pela diferença de marca e modelo do moinho utilizado neste e nos demais estudos citados. Apesar de todos serem de escala laboratorial, estes moinhos são de capacidades e modelos diferentes. Os valores de rendimento tendem a ser maiores quando a moagem é realizada em larga escala nos moinhos comerciais.

5.2 Composição centesimal das farinhas de triticales e trigo.

A Tabela 10 apresenta a composição centesimal da farinha de triticales utilizada nesse experimento.

Tabela 10. Composição centesimal da farinha de triticales (IAC-5).

Componentes	Farinha de Triticales	Farinha de Trigo
Umidade (g/100g)	11,7 ± 0,1	12,7 ± 0,1
Cinzas (g/100g)	0,5 ± 0,0	0,6 ± 0,0
Proteína (Nx5,75) (g/100g)	7,9 ± 0,2	10,4 ± 0,2
Lipídios totais (g/100g)	1,0 ± 0,0	1,5 ± 0,0
Carboidratos totais (g/100g)	78,9*	74,8*

* calculado por diferença.

A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) ainda não possui legislação específica para farinha de triticales. Já a farinha de trigo utilizada nesse projeto está de acordo com a Instrução Normativa nº 8, de 02/06/2005 (ANVISA, 2009) que aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo.

Pode-se observar na Tabela 10 que a farinha de triticales apresenta 24% e 33% menos proteína e lipídios totais, respectivamente, e uma quantidade 5,5% superior de carboidratos totais em relação à farinha de trigo.

Jardine (1981) obteve valores superiores de quantidade de proteínas (10,65 e 11,00 g/100g, para farinha de triticales e trigo, respectivamente), e valores similares de teor de gordura (1,01 g/100g para farinha de triticales e 1,62g/100g para farinha de trigo). É esperada uma variação dos resultados de composição centesimal de um cultivar para outro, tanto para o triticales, como para o trigo.

5.3 Caracterização das farinhas de tricale e trigo.

A Tabela 11 apresenta os valores de *falling number*, teor de glúten, e cor das farinhas de trigo e tritcale utilizadas neste estudo.

Tabela 11. Caracterização das farinhas puras.

	Triticale	Trigo
<i>Falling number</i> (s)	90,5 ± 3,33	494,8 ± 11,81
Índice de glúten	**	95,00 ± 1,54
Glúten úmido (%)	**	26,45 ± 0,25
Glúten seco (%)	**	8,65 ± 0,13
Cor		
L*	93,34 ± 0,03	91,80 ± 0,06
C*	7,03 ± 0,04	9,90 ± 0,05
h	89,59 ± 0,03	89,02 ± 0,04

** não houve formação de glúten mecanicamente e nem manualmente.

5.3.1 *Falling number*

Os valores de *falling number* das duas farinhas são muito diferentes, sendo o valor da farinha de trigo 5,5 vezes maior que o valor do tritcale. O baixo valor dessa análise para a farinha de tritcale já era esperado, devido a sua alta atividade enzimática. O trigo apresentou valor maior do que o esperado para a produção de pães (entre 200 e 300 segundos), indicando uma atividade de α -amilase muito baixa. Tal fato foi corrigido na realização dos testes de produção, com adição de enzima α -amilase na formulação.

5.3.2 Teor de glúten

Não foi possível determinar o teor de glúten da farinha de tritcale tanto pelo método de lavagem mecânica, utilizando o sistema Glutomatic, quanto pelo método de lavagem manual. Esse fato indica que a farinha de tritcale não possui boas propriedades de formação da rede de glúten, apesar de apresentar 7,9 g / 100 g de proteína em sua composição centesimal. Já, a farinha de trigo apresenta índice de glúten superior a 90, sendo possível classificá-la, nesse aspecto, como de qualidade muito boa.

5.3.3 Cor

Os resultados mostraram que a farinha de triticales obtida neste experimento é mais clara e menos saturada que a farinha de trigo comercial obtida.

5.4 Caracterização reológica das farinhas

5.4.1 Farinografia

A Tabela 12 apresenta as características farinográficas da farinha de triticales e da farinha de trigo.

Tabela 12. Caracterização farinográfica das farinhas de triticales e de trigo.

Parâmetro	Triticales	Trigo
Absorção de água (%)	55,4	58,2
Tempo de chegada (min)	1,0	1,3
Tempo de desenvolvimento (min)	1,0	10,3
Tempo de saída (min)	3,0	17,2
Estabilidade da massa (min)	2,0	16,0
Índice de tolerância à mistura (UF)	80	30

Os parâmetros farinográficos das duas farinhas utilizadas nesse experimento são quase todos diferentes. Apesar do tempo de chegada ter sido próximo para as duas farinhas, o tempo de saída e a estabilidade da farinha de trigo são 5,7 e 8 vezes, respectivamente, superiores aos da farinha de triticales. Observa-se também que a farinha de triticales apresenta um índice de tolerância à mistura 2,6 vezes maior que a farinha de trigo, o que demonstra uma menor resistência da massa à mistura.

Os valores encontrados para a farinha de triticales corroboram com os valores apresentados por outros pesquisadores (TSEN, 1973; LEITÃO, 1979; JARDINE, 1981) que também observaram um rápido desenvolvimento e uma baixa estabilidade da massa. Já, a farinha de trigo se apresenta dentro do esperado para uma farinha de panificação, conforme a especificação prévia do fornecedor.

5.4.2 Extensografia

A Tabela 13 apresenta as características extensográficas da farinha de tritcale e da farinha de trigo. O Anexo IV mostra os gráficos extensográficos correspondente aos dados abaixo.

Tabela 13. Caracterização extensográfica das farinhas de tritcale e de trigo.

Parâmetro	Tempo	Triticale	Trigo
Abs. com sal (%)	0 min	55,8	51,7
Resistência (R) [UE]	45 min	246,7	525,0
	90 min	375,0	936,7
	135 min	373,3	978,3
Resistência Máxima (Rmax) [UE]	45 min	251,7	690,0
	90 min	378,3	980,0
	135 min	375,0	985,0
Extensibilidade (Ext) [mm]	45 min	112,0	116,5
	90 min	98,8	102,2
	135 min	94,2	85,5
Número Proporcional (D)	45 min	2,2	5,9
	90 min	3,8	9,6
	135 min	4,0	11,6
Energia (A) [cm³]	45 min	44,9	118,1
	90 min	54,7	140,4
	135 min	51,9	122,2

Observa-se que a farinha de tritcale apresenta parâmetros extensográficos bastante inferiores, do ponto de vista da utilização desta em panificação, que os da farinha de trigo padrão.

Enquanto a farinha de trigo apresenta valores de R e Rmax elevados, próximos a 1000 UE, a farinha de tritcale tem valores inferiores a 400 UE em todas as leituras desses parâmetros. Este é um dos principais fatores que dificulta a utilização da farinha de tritcale na produção de pães, pois a baixa resistência da massa não impede a saída dos gases da fermentação. Apenas na extensibilidade, os resultados entre as duas farinhas são próximos, principalmente nos tempos de 45 e 90 minutos.

5.5 Caracterização reológica das misturas: farinha de trigo, tritcale e MTGase.

Seguindo as mesmas proporções de farinha de trigo, farinha de tritcale e enzima MTGase apresentadas na Tabela 8, foram realizadas as análises farinográficas e extensográficas de cada uma dessas misturas. Os dados coletados foram analisados no programa Statistica 7.0 com $p < 0,10$, e os resultados são apresentados a seguir, nos itens 5.5.1 e 5.5.2.

5.5.1 Farinografia

A Tabela 14 apresenta os dados do farinograma obtidos para cada uma das 11 misturas propostas no delineamento experimental e os valores das farinhas puras.

Tabela 14. Parâmetros farinográficos das misturas de farinha de trigo, de tritcale e MTGase.

Ensaio	X_1^{*1}	X_2^{*2}	ABS (%)	TC (min)	TDM (min)	TS (min)	EST (min)	ITM (UF)
1	14,54	0,12	58,1	1,3	2,0	8,3	7,0	50,0
2	85,46	0,12	57,0	1,0	1,5	2,5	1,5	80,0
3	14,54	0,68	58,7	1,2	2,0	5,8	4,7	66,7
4	85,46	0,68	57,3	1,3	1,8	4,5	3,2	53,3
5	0	0,40	57,7	1,2	11,3	17,0	15,8	43,3
6	100	0,40	58,4	1,0	1,2	2,2	1,2	83,3
7	50	0	58,5	1,2	2,0	3,5	2,3	56,7
8	50	0,80	56,9	1,0	1,5	2,7	1,7	76,7
9	50	0,40	58,6	1,2	1,8	4,0	2,8	70,0
10	50	0,40	57,9	1,0	1,5	3,0	2,0	73,3
11	50	0,40	57,7	0,8	1,3	2,8	2,0	70,0
Trigo^{*3}	-	-	58,2	1,3	10,3	17,2	16,0	30,0
Triticale^{*3}	-	-	54,4	1,0	1,0	3,0	2,0	80,0

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de tritcale; *² porcentagem em base seca de farinha; ABS: absorção de água; TC: tempo de chegada; TDM: tempo de desenvolvimento da massa; TS: tempo de saída; EST: estabilidade; ITM: índice de tolerância à mistura. *³ farinha pura.

5.5.1.1 Absorção de água

A absorção de água é definida como a quantidade de água necessária para produzir uma massa com consistência máxima de 500 UF (SLUIMER, 2005). Dentre os fatores mais importantes que influenciam esse parâmetro, estão o teor e a qualidade de proteína e de amido da farinha. Até certo limite, de um modo geral, quanto maior a absorção de água da farinha, melhor será sua utilização para panificação (JARDINE, 1981).

A análise estatística da resposta *absorção de água* para o delineamento apresentado resultou em nenhuma variável significativa, com coeficiente de explicação de apenas 19,62% (os resultados da análise encontram-se no Anexo V), não sendo possível realizar o teste de ANOVA.

A absorção média dos ensaios realizados foi de $57,9 \pm 0,63\%$. Esse valor mostra que a adição de tritcale e MTGase nas concentrações estudadas não apresentou grandes alterações na absorção de água das misturas, com maior diferença apenas em relação à farinha de tritcale pura, 6% menor.

Os resultados obtidos são diferentes dos apresentados por outros pesquisadores que estudaram a ação da MTGase em farinha de trigo pura. Koh e Ng (2009) obtiveram redução nos valores de absorção de água do teste farinográfico com a adição de MTGase em farinha de trigo forte. O mesmo resultado foi obtido por Medina-Rodríguez *et al.* (2009) com redução significativa na absorção de água nos testes farinográficos realizados com farinha de trigo do tipo durum, forte e fraca, onde o efeito mais pronunciado foi obtido em farinhas fracas com altas concentrações enzimáticas (1,12% em base seca de farinha).

Houve uma variação de 0,9% entre os valores de absorção de água dos pontos centrais. Silva (2006) encontrou uma variação de 0,6% nos pontos centrais, em um planejamento experimental com farinha de grão inteiro e enzimas.

5.5.1.2 Tempo de chegada

O parâmetro *tempo de chegada* representa o tempo, em minutos, do início da análise até que toda a água adicionada ao sistema tenha sido absorvida pela farinha, ao alcançar a linha de 500 UF, iniciando assim a formação da massa.

A análise estatística da resposta *tempo de chegada* (os resultados da análise encontram-se no Anexo V) mostrou que nenhuma das variáveis foi estatisticamente significativa ($p < 0,10$). Além disso, o coeficiente de explicação foi de apenas 54,83%, não sendo possível, portanto, a obtenção de uma equação para predição dessa variável.

A média das respostas de *tempo de chegada* para os 11 ensaios foi de $1,11 \pm 0,16$ minutos. Com esse desvio, a média mostra-se muito próxima a todos os ensaios realizados, incluindo os resultados das farinhas puras, e indica que a utilização de triticales e MTGase nas faixas estudadas não altera esse parâmetro farinográfico.

5.5.1.3 Tempo de desenvolvimento

O tempo de desenvolvimento é definido como o tempo em minutos do início da mistura até que a massa atinja o valor máximo de consistência (SLUIMER, 2005). Esse tempo está relacionado diretamente com o tempo ideal de mistura da massa, ponto em que a massa está completamente desenvolvida (JARDINE, 1981).

A Tabela 15, apresenta os coeficientes de regressão para a resposta *tempo de desenvolvimento* e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

Tabela 15. Coeficientes de regressão para resposta *tempo de desenvolvimento*.

Variáveis	Coef. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	<u><i>1,564208</i></u>	<u><i>1,489964</i></u>	<u><i>1,04983</i></u>	<u><i>0,341867</i></u>
x₁ (L)	<u><i>-1,880804</i></u>	<u><i>0,913784</i></u>	<u><i>-2,05826</i></u>	<u><i>0,094643</i></u>
x₁ (Q)	1,808354	1,090382	1,65846	0,158122
x₂ (L)	-0,046597	0,913784	-0,05099	0,961305
x₂ (Q)	-0,455114	1,090382	-0,41739	0,693711
(x₁) * (x₂)	0,083333	1,290362	0,06458	0,951010
R²	61,18%			

A análise estatística da resposta *tempo de desenvolvimento* para o delineamento mostra que apenas a variável x₁ (L) foi significativa ($p < 0,10$), e o coeficiente de explicação foi de 61,18%. Sendo assim, não foi possível realizar o teste de ANOVA para esta resposta.

A significância estatística da variável x₁ (L) mostra um efeito negativo da adição de triticales no parâmetro em questão. Doxastakis *et al.* (2002) também obteve uma redução dos valores de tempo de desenvolvimento com adição de farinha de triticales de 5 e 10% em substituição à farinha de trigo, passando de 2 minutos na farinha de trigo pura, para 1,5 minutos com adição do triticales.

Em relação à MTGase, os altos resultados de p-valor indicam que não houve ação significativa da enzima nessa resposta. Outros autores obtiveram efeitos significativos com a utilização da MTGase em sistemas com farinha de trigo pura. Medina-Rodríguez *et al.* (2009), obtiveram redução no tempo de desenvolvimento, utilizando a enzima em farinhas fortes. O mesmo não foi observado em farinha fraca, onde não houve efeito significativo.

5.5.1.4 Tempo de saída

O tempo de saída é definido com o tempo, em minutos, requerido para que o topo da banda deixe a linha de 500 UF, a partir do início da adição da água. Os resultados para a essa resposta estão apresentados na Tabela 14.

A Tabela 16, apresenta os coeficientes de regressão para a resposta *tempo de saída* e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). Sua análise nos permite calcular sua ANOVA, pois é constatado um coeficiente de determinação de 85,22%. Os dados da ANOVA são apresentados logo em seguida na Tabela 17.

Tabela 16. Coeficientes de regressão para resposta *tempo de saída*.

Variáveis	Coef. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	<u>3,28198</u>	<u>1,343496</u>	<u>2,44287</u>	<u>0,058447</u>
x ₁ (L)	<u>-3,52068</u>	<u>0,823956</u>	<u>-4,27290</u>	<u>0,007917</u>
x ₁ (Q)	<u>2,90297</u>	<u>0,983194</u>	<u>2,95259</u>	<u>0,031790</u>
x ₂ (L)	-0,21000	0,823956	-0,25487	0,808976
x ₂ (Q)	-0,36648	0,983194	-0,37275	0,724615
(x ₁) * (x ₂)	1,12500	1,163515	0,96690	0,378003
R ²	85,56%			

Tabela 17. Teste de ANOVA com coeficientes significativos para a resposta *tempo de saída*.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
Regressão	152,9	2	76,4366	17,96
Resíduo	34,0	8	4,2551	
Total	186,9	10		

Pela análise da Tabela 17, pode-se verificar que o F calculado para a regressão é 5,8 vezes maior que o F tabelado (3,11). Aliado a um bom coeficiente de determinação (81,79%), a ANOVA nos permite apresentar a Equação 5.1 que descreve a resposta *tempo de saída* e seu gráfico correspondente (Figura 6).

$$\text{Tempo de saída} = 2,99775 - 3,52068 \cdot x_1 + 2,97027 \cdot x_1^2 \quad (\text{Eq. 5.1})$$

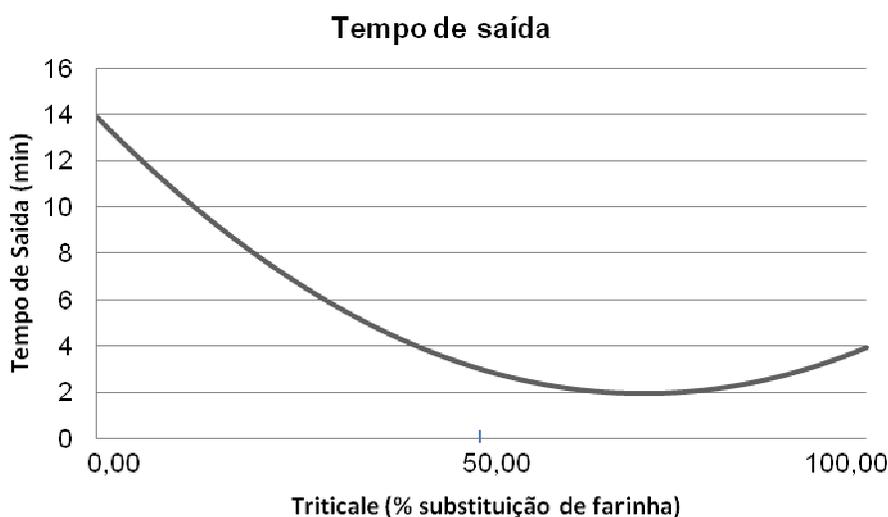


Figura 6. Curva para resposta *tempo de saída* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale.

Analisando a Figura 6, pode-se verificar que até valores próximos a 50% de substituição de farinha de trigo por triticale, o efeito dessa alteração causa uma queda de 13,9 para 3,0 minutos no tempo de saída da massa, mantendo-se nesse patamar (entre 2 e 4 minutos). Em uma pesquisa com substituição de até 10% de farinha de trigo por triticale, Doxastakis *et al.* (2002) também obtiveram uma redução de 25% nos valores de tempo de saída da massa com o aumento da substituição.

Já, a MTGase não apresentou atuação significativa nessa resposta. É possível que a quantidade de enzima utilizada não tenha sido suficiente para causar alterações significativas no curto tempo em que a análise farinográfica é realizada, não havendo tempo suficiente para ação da enzima.

5.5.1.5 Estabilidade

O parâmetro estabilidade, expresso em minutos, é definido como a diferença de tempo entre o momento que a consistência da massa atinge o valor de 500 UF e o momento que ela deixa essa linha. Uma estabilidade maior indica que a farinha apresenta proteínas de melhor qualidade. Farinhas com alta estabilidade da massa apresentam bons resultados em panificação (SLUMIER, 2005).

Assim como a resposta *tempo de saída*, a *estabilidade* também apresentou valores fora da faixa das farinhas puras (2 a 16 minutos, correspondentes ao tempo de estabilidade da farinha de tritcale pura e da farinha de trigo pura, respectivamente).

A Tabela 18 apresenta os coeficientes de regressão para a resposta *estabilidade* e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). O R^2 de 85,19% nos permite calcular a ANOVA para essa resposta. Os dados da ANOVA apenas para os coeficientes significativos são apresentados em seguida Tabela 20.

Tabela 18. Coeficientes de regressão para resposta *estabilidade*.

Variáveis	Coef. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	2,27137	1,340947	1,69385	0,151070
<i>x₁ (L)</i>	<u><i>-3,47032</i></u>	<u><i>0,822393</i></u>	<u><i>-4,21979</i></u>	<u><i>0,008330</i></u>
<i>x₁ (Q)</i>	<u><i>2,83507</i></u>	<u><i>0,981329</i></u>	<u><i>2,88901</i></u>	<u><i>0,034226</i></u>
x₂ (L)	-0,20143	0,822393	-0,24493	0,816242
x₂ (Q)	-0,43439	0,981329	-0,44265	0,676512
(x₁) * (x₂)	1,00000	1,161308	0,86110	0,428536
R²	85,19%			

Tabela 19. Teste de ANOVA com coeficientes significativos para a resposta *estabilidade*.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
Regressão	149,8	2	74,8758	18,51
Resíduo	32,4	8	4,0442	
Total	182,1	10		

Analisando a Tabela 19, pode-se verificar que o F calculado para a regressão é 5,9 vezes maior que o F tabelado (3,11). Juntamente com um bom coeficiente de determinação (82,23%), o teste de ANOVA nos permite apresentar a Equação 5.2, que descreve a resposta *estabilidade*, e seu gráfico correspondente (Figura 7).

$$\text{Estabilidade} = 1,86461 - 3,47032*x_1 + 2,96163*x_1^2 \quad (\text{Eq. 5.2})$$

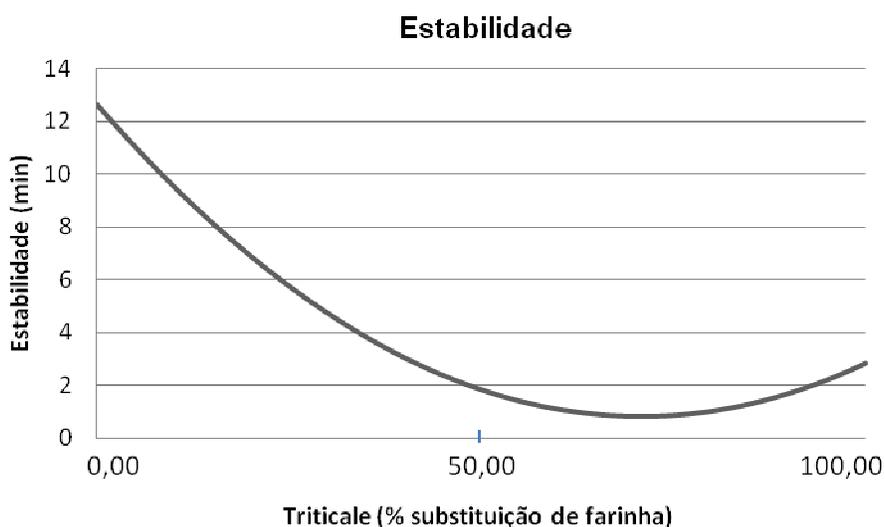


Figura 7. Curva para resposta *estabilidade* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale.

A análise da Figura 7 indica que o comportamento da resposta *estabilidade* é muito semelhante ao da resposta *tempo de saída*. Até valores próximos a 50% de substituição de farinha de trigo por triticale, há uma queda acentuada, de 12,6 para 1,9 minutos, da estabilidade, mantendo-se em um patamar mínimo (entre 0,8 e 2,9 minutos) entre 50% e 100% de substituição. Tsen *et al.* (1973) também relataram baixa estabilidade das massas com a incorporação de triticale.

Assim como no tempo de saída, a enzima não atuou significativamente nesta resposta, dentro da faixa estudada. É possível que a quantidade utilizada não tenha sido suficiente para evidenciar uma alteração significativa nesse parâmetro, principalmente em vista do baixo tempo disponível para ação da enzima. Outros pesquisadores conseguiram mostrar a atuação

da enzima no tempo de saída em diferentes tipos de farinha de trigo (sem adição de farinha triticales). Basman *et al.* (2002) obtiveram valores máximos de estabilidade na concentração de 0,5% de MTGase (base seca de farinha). Já Medina-Rodríguez *et al.* (2009) relataram maiores valores de estabilidade em concentrações de aproximadamente 0,6% para farinhas fortes e 1,2% para farinha fraca.

5.5.1.6 Índice de tolerância à mistura (ITM)

O ITM é definido como a diferença de consistência da massa (em unidades farinográficas – UF) entre o topo da banda no ponto máximo e o topo da banda 5 minutos após o ponto máximo ter sido atingido (MONTENEGRO; ORMENESE, 2006). Quanto maior o seu valor, menor é a tolerância da massa à mistura.

A Tabela 20 abaixo apresenta os coeficientes de regressão e seus respectivos p-valores para a resposta *índice de tolerância*. Os coeficientes em *itálico* e *sublinhados* são estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

Tabela 20. Coeficientes de regressão para resposta *ITM*.

Variáveis	Coef. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	<u><i>71,1097</i></u>	<u><i>5,179085</i></u>	<u><i>13,73018</i></u>	<u><i>0,000037</i></u>
x₁ (L)	<u><i>9,1547</i></u>	<u><i>3,176295</i></u>	<u><i>2,88219</i></u>	<u><i>0,034500</i></u>
x₁ (Q)	-4,5373	3,790146	-1,19713	0,284914
x₂ (L)	2,2818	3,176295	0,71838	0,504681
x₂ (Q)	-2,8523	3,790146	-0,75255	0,485622
(x₁) * (x₂)	<u><i>-10,8333</i></u>	<u><i>4,485272</i></u>	<u><i>-2,41531</i></u>	<u><i>0,060466</i></u>
R²		76,49%		

As variáveis x_1 (L) e a interação entre x_1 e x_2 foram significativas ($p < 0,10$), e o coeficiente de explicação foi de 76,49%, sendo possível, portanto, a realização do teste de ANOVA, apresentado na Tabela 21.

Tabela 21. Teste de ANOVA para a resposta *ITM*.

Fontes de variação R ² 76,49%	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
Regressão	1340,3	5	268,1	3,61
Resíduo	371,1	5	74,22	
Total	1711,5	10		

O F calculado foi apenas 4% maior que o F tabelado (3,45) não sendo possível, portanto, a obtenção de uma equação preditiva para a resposta *ITM*. Contudo, a análise das variáveis significativas mostra que apesar do triticales apresentar um efeito expressivo no aumento do valor de *ITM*, a sua interação com a enzima tende a reduzir esse valor (interação entre x_1 e x_2 apresentou p-valor de 0,06, mostrando-se, portanto, altamente significativa). Quando adicionada na mistura com uma maior quantidade de farinha de trigo, a enzima causou um aumento do *ITM* (comparação entre os ensaios 1 e 3; 7 e 8). Entretanto, quando adicionada nas misturas com maiores quantidades de farinha de triticales, a enzima diminuiu os valores de *ITM* (comparação entre os ensaios 2 e 4), melhorando a tolerância da massa à mistura.

5.5.2 Extensografia

Para melhor compreensão da ação da enzima MTGase no sistema trigo – triticales, foi necessário observar as leituras dos 3 tempos de descanso realizados na análise extensográfica: 45, 90 e 135 minutos. A única exceção se aplica à absorção de água com sal, que é lida apenas no preparo da massa a ser analisada.

As leituras de R e Rmax que resultaram em valores fora da escala de leitura foram apresentadas nas tabelas como >1000 UE, conforme indica a metodologia. Entretanto, para a realização dos cálculos estatísticos, foi utilizado o valor de 1000 UE nesses casos.

5.5.2.1 Absorção com sal - A.SAL (%)

A Tabela 22 apresenta os dados de absorção de água obtidos para cada uma das 11 misturas propostas no delineamento experimental.

Tabela 22. Resultados para resposta *absorção com sal* (A.SAL).

Ensaio	X_1^{*1}	X_2^{*2}	A.SAL (%)
1	14,54	0,12	55,5
2	85,46	0,12	53,5
3	14,54	0,68	56,1
4	85,46	0,68	54,5
5	0	0,40	56,5
6	100	0,40	54,7
7	50	0	55,1
8	50	0,80	54,1
9	50	0,40	54,8
10	50	0,40	54,8
11	50	0,40	54,1
Trigo^{*3}	-	-	55,8
Triticale^{*3}	-	-	51,7

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticale; *² porcentagem em base seca de farinha; *³ farinha pura.

A Tabela 23 apresenta os coeficientes de regressão e seus respectivos p-valores para a resposta *absorção com sal*. Os coeficientes em *itálico e sublinhados* são estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

A análise estatística da resposta *absorção com sal* mostra que variável x_1 (L) foi significativa ($p < 0,10$), e o R^2 obtido foi de 78,60%. O teste de ANOVA utilizando apenas os coeficientes mais significativos (x_1 (L) e x_1 (Q)), é apresentado na Tabela 24.

Tabela 23. Coeficientes de regressão para resposta *absorção com sal* (A.SAL).

Variáveis	Coef. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	<u>54,56747</u>	<u>0,334738</u>	<u>163,0152</u>	<u>0,000000</u>
x₁ (L)	<u>-0,76954</u>	<u>0,205293</u>	<u>-3,7485</u>	<u>0,013314</u>
x₁ (Q)	0,46825	0,244968	1,9115	0,114167
x₂ (L)	0,02382	0,205293	0,1160	0,912142
x₂ (Q)	-0,03474	0,244968	-0,1418	0,892766
(x₁) * (x₂)	0,10000	0,289895	0,3450	0,744167
R²	78,60%			

Tabela 24. Teste de ANOVA com coeficientes significativos para a resposta *absorção com sal*.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
R² 77,95%				
Regressão	6,1	2	3,1	14,14
Resíduo	1,7	8	0,22	
Total	7,9	10		

O F calculado foi 4,5 vezes maior que o F tabelado (3,11), e aliado a um coeficiente de determinação satisfatório (77,95%) permite apresentar a Equação 5.3, que descreve a resposta *absorção com sal* e seu gráfico correspondente (Figura 8).

$$\text{Absorção com sal} = 54,53494 - 0,76954 \cdot x_1 + 0,47838 \cdot x_1^2 \quad (\text{Eq. 5.3})$$

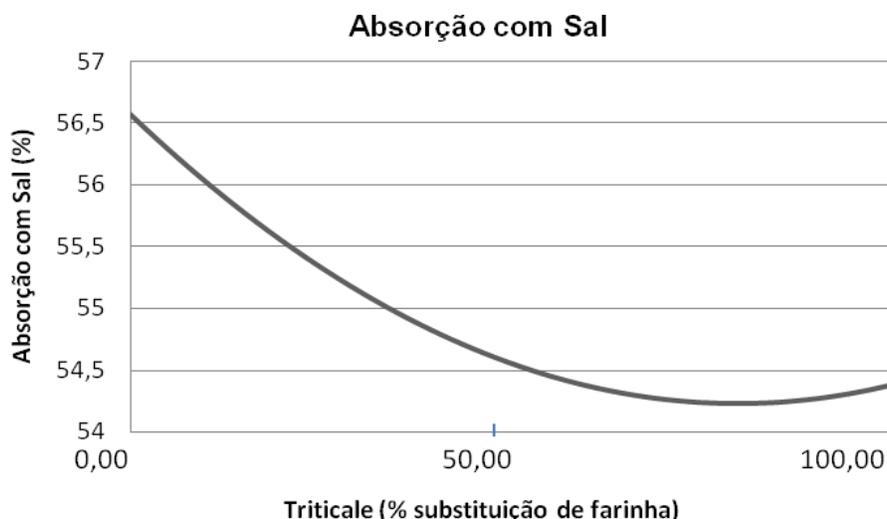


Figura 8. Curva para resposta *absorção com sal* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale.

A análise da Figura 8 indica que o comportamento da resposta *absorção com sal* é muito semelhante ao da resposta *tempo de saída e estabilidade*. Até valores próximos a 50% de substituição de farinha de trigo por triticale, há uma queda mais acentuada, de 56,6 para 54,7 %, da absorção, mantendo-se entre 54,7 e 54,3%, até 100% de substituição. Não foram encontrados na literatura outros trabalhos que tenham estudado o efeito do triticale ou da MTGase nesse parâmetro extensográfico.

5.5.2.2 Resistência à extensão - R (UE)

A resistência à extensão é definida como a altura da curva a 50 mm da origem, expressa em unidades extensográficas (EU). A Tabela 25 apresenta os valores de resistência (R) das massas lidas nos tempos de 45, 90 e 135 minutos.

A Tabela 26 apresenta os coeficientes de regressão e seus respectivos p-valores para a resposta *resistência*. Os coeficientes em *itálico e sublinhados* são estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

Tabela 25. Resistência das massas nas leituras a 45, 90 e 135 minutos.

Ensaio	X ₁ * ¹	X ₂ * ²	R (UE) 45 min	R (UE) 90 min	R (UE) 135 min
1	14,54	0,12	631,7	1000,0	921,7
2	85,46	0,12	420,0	403,3	535,0
3	14,54	0,68	816,7	1000,0	691,7
4	85,46	0,68	615,0	958,3	276,7
5	0	0,40	880,0	1000,0	516,7
6	100	0,40	320,0	510,0	281,7
7	50	0	415,0	605,0	618,3
8	50	0,80	505,0	651,7	186,7
9	50	0,40	508,3	883,3	663,3
10	50	0,40	538,3	973,3	546,7
11	50	0,40	511,7	831,7	660,0
Trigo * ³	-	-	525,0	936,7	978,3
Triticale * ³	-	-	246,7	375,0	373,3

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticale; *² porcentagem em base seca de farinha; *³ farinha pura.

Tabela 26. Coeficientes de regressão para resposta R, nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Variáveis	45 minutos		90 minutos		135 minutos	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	<u>519,084</u>	<u>0,000198</u>	<u>895,516</u>	<u>0,000074</u>	<u>622,636</u>	<u>0,000835</u>
(1)% TTC(L)	<u>-150,815</u>	<u>0,005862</u>	<u>-166,650</u>	<u>0,015444</u>	<u>-157,512</u>	<u>0,032017</u>
% TTC(Q)	63,527	0,165655	-32,962	0,576050	-68,163	0,334120
(2)MTGase (L)	63,552	0,110548	77,832	0,152964	<u>-152,995</u>	<u>0,035326</u>
MTGase (Q)	-6,892	0,867202	-96,675	0,139958	-66,486	0,345035
(1) * (2)	2,500	0,959064	<u>138,750</u>	<u>0,086824</u>	-37,917	0,636804
R²	84,83%		82,42%		79,04%	

Os resultados da análise estatística dos dados mostram que os coeficientes de explicação dos três tempos de descanso foram satisfatórios (superiores a 70%). As ANOVAs para os três tempos de leitura são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27. Resultados da ANOVA para R nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Tempo de leitura	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
45 minutos (R²=84,83%) mod.completo	Regressão	236533,4	5	47306,7	5,07
	Resíduo	46630,3	5	9326,05	
	Falta de Ajuste	42405,7	3	14135,2	52,3
	Erro Puro	540,7	2	270,4	
	Total	283163,6	10		
90 minutos (R²=81,17%) mod.simplificado	Regressão	392349,3	4	98312,3	6,46
	Resíduo	91258,8	6	15209,8	
	Falta de Ajuste	80979,2	4	20244,79	3,94
	Erro Puro	10279,6	2	5139,81	
	Total	484508,1	10		
135 minutos (R²=79,04%) mod.completo	Regressão	441132,7	5	88226,6	4,3
	Resíduo	102517,3	5	20503,5	
	Falta de Ajuste	105149,6	3	35049,9	7,9
	Erro Puro	8822,22	2	4411,11	
	Total	543650	10		

Foi encontrado F calculado maior que F tabelado (3,45) para os três tempos de leitura (1,5 vezes maior para 45 e 90 minutos, e 1,25 vezes maior para o planejamento de 135 minutos). Entretanto, o F calculado para a falta de ajuste foi 5,7 vezes maior que o F tabelado para a falta de ajuste (9,16) no tempo de 45 minutos, e muito próximo no caso do planejamento 135 minutos (9,16), o que inviabiliza a utilização dos dados. Já, para o tempo de 90 minutos, o F calculado para falta de ajuste foi 1,9 vezes menor que o F tab para falta de ajuste (9,16). Sendo assim, foi obtida apenas a Equação 5.4, referente à leitura de 90 minutos. A Figura 9 representa a Equação 5.4.

$$R_{90\text{minutos}} = 864,651 - 166,650*x_1 + 77,832*x_2 - 87,071*x_2^2 + 138,750*x_1*x_2 \quad (\text{Eq. 5.4})$$

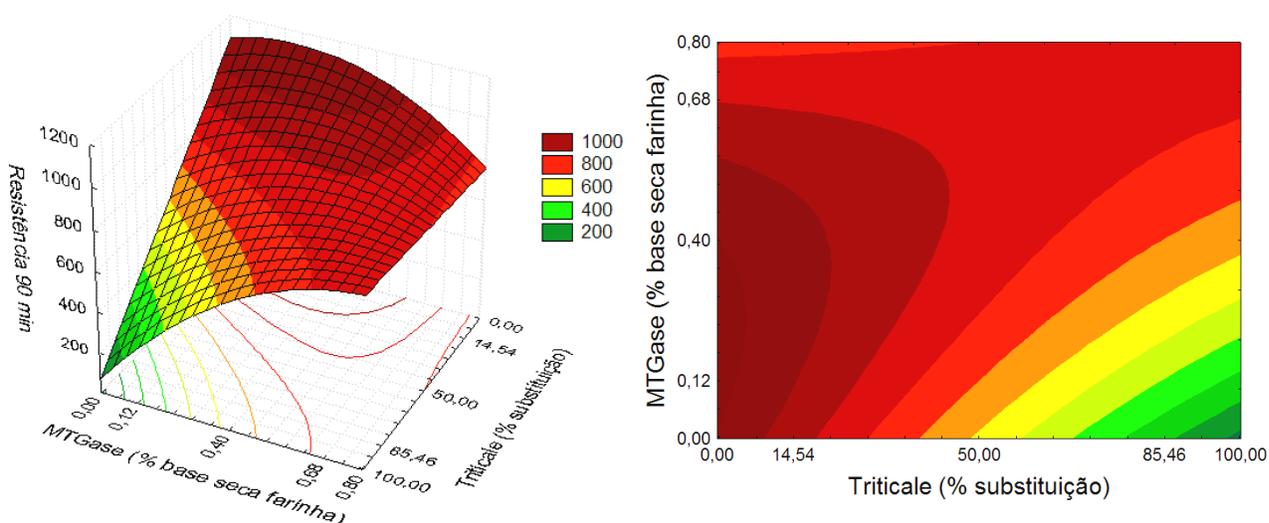


Figura 9. Superfície de resposta e curvas de contorno para resposta *resistência* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale e da porcentagem de enzima adicionada (base seca de farinha) a 90 minutos.

A análise da Figura 9 mostra que as variáveis independentes atuam intensamente na resposta R com 90 minutos de descanso da massa. É possível verificar que há uma forte indicação de formação de um pico, em regiões próximas a farinha de trigo pura, evidenciando que para uma farinha forte, como a farinha de trigo utilizada, a adição excessiva da enzima causa uma redução do valor de R da massa. Em sistemas com grande substituição de farinha de trigo por farinha de triticale, a superfície de resposta indica que a enzima seria capaz de fornecer valores bem maiores de R do que os encontrados na ausência da enzima.

Os coeficientes de regressão (Tabela 26) mostram comportamentos diferentes da MTGase entre cada tempo de leitura. Nos dois primeiros, a enzima atuou aumentando a resistência da massa. No último tempo de leitura, 135 min, a enzima passou a reduzir o valor de R . É possível que com maior tempo de ação, a enzima catalise a formação excessiva de ligações entre as proteínas, levando a uma diminuição na resistência da massa. Já, o triticale causou efeito negativo nas respostas de R em todos os ensaios onde houve substituição da farinha de trigo, e em todos os tempos de leitura.

5.5.2.3 Resistência máxima – Rmax (UE)

A resistência máxima de uma farinha é dada pela altura máxima da curva extensográfica, expressa em unidades extensográficas (UE). A Tabela 28 apresenta os valores de Rmax das massas, lidas nos tempos de 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 28. Resistência máxima das massas nas leituras após 45, 90 e 135 minutos.

Ensaio	X_1^{*1}	X_2^{*2}	Rmax (UE) 45 min	Rmax (UE) 90 min	Rmax (UE) 135 min
1	14,54	0,12	781,7	>1000,0	921,7
2	85,46	0,12	443,3	408,3	540,0
3	14,54	0,68	961,7	>1000,0	865,0
4	85,46	0,68	688,3	965,0	648,3
5	0	0,40	953,3	>1000,0	813,3
6	100	0,40	320,0	541,7	445,0
7	50	0	485,0	663,3	665,0
8	50	0,80	530,0	796,7	473,3
9	50	0,40	578,3	888,3	730,0
10	50	0,40	623,3	976,7	766,7
11	50	0,40	583,3	838,3	721,7
Trigo^{*3}	-	-	690,0	980,0	985,0
Triticale^{*3}	-	-	251,7	378,3	375,0

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticale; *² porcentagem em base seca de farinha; *³ farinha pura.

A Tabela 29 apresenta os coeficientes de regressão e seus respectivos p-valores para a resposta *Rmax*. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

Tabela 29. Coeficiente de regressão para resposta R_{max} nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Variáveis	45 minutos		90 minutos		135 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u>594,418</u>	<u>0,000338</u>	<u>900,739</u>	<u>0,000015</u>	<u>738,868</u>	<u>0,000071</u>
x_1 (L)	<u>-188,645</u>	<u>0,006490</u>	<u>-159,589</u>	<u>0,004914</u>	<u>-140,127</u>	<u>0,013882</u>
x_1 (Q)	58,170	0,298813	-41,748	0,341490	-18,607	0,696968
x_2 (L)	61,238	0,205196	<u>93,361</u>	<u>0,037819</u>	-27,404	0,500841
x_2 (Q)	-6,800	0,897519	-62,286	0,177744	-48,787	0,328684
$(x_1) * (x_2)$	16,250	0,795347	<u>139,167</u>	<u>0,031526</u>	41,250	0,474453
R^2	82,70%		89,46%		76,25%	

Poucas variáveis foram significativas ($p < 0,10$) para as três leituras. Apenas a leitura a 90 minutos apresentou um maior número de coeficientes significativos: x_1 (L), x_2 (L) e a interação entre x_1 e x_2 . Contudo, assim como para a resistência, todos os tempos apresentaram coeficientes de explicação satisfatórios (maiores que 70%).

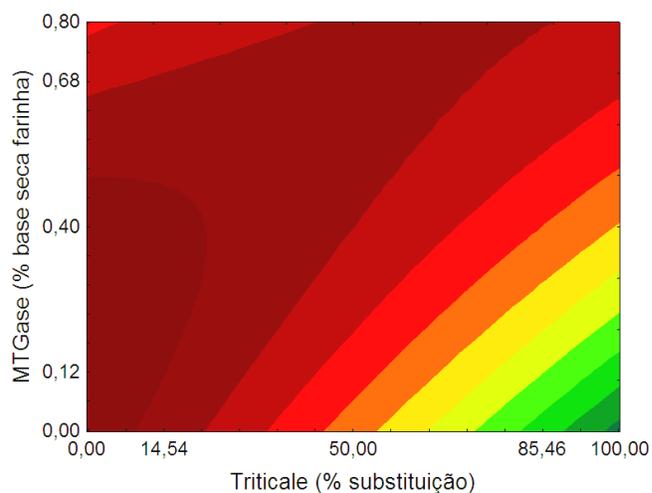
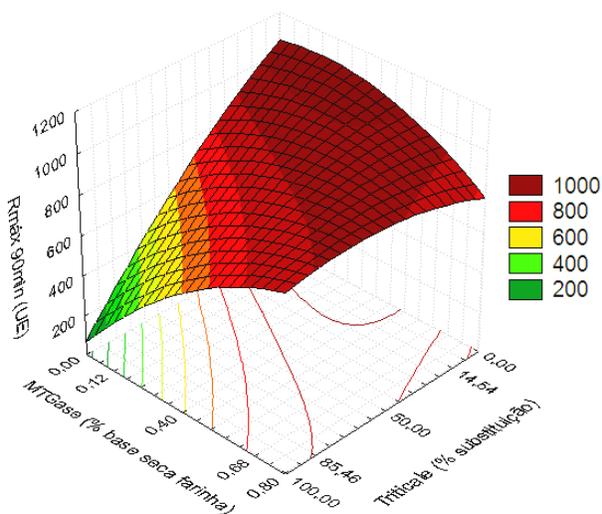
As ANOVAs com todos os coeficientes de regressão são apresentadas na Tabela 30. Nela, verifica-se que para 45 e 90 minutos de leitura, foi encontrado F calculado maior que F tabelado (3,45). Entretanto, o F calculado para tempo de leitura de 45 minutos foi apenas 1,3 vezes maior que o F tabelado e o seu F calculado para falta de ajuste foi 4 vezes maior que o tabelado para a falta de ajuste (9,16). Já, para o planejamento com 135 minutos, o F calculado foi menor que o F tab (3,45), com F calculado para falta de ajuste 3,5 vezes maior que o F tabelado (9,16). Sendo assim, foi obtida apenas a Equação 5.5, que representa o valor da resposta R_{max} no tempo de leitura de 90 minutos (F calculado 2,9 vezes maior que o F tabelado de 3,45).

Tabela 30. ANOVA para resposta R_{max} nos tempos de leitura 45 e 90 minutos.

Tempo de leitura	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
45 minutos ($R^2=82,69\%$) mod.completo	Regressão	334029,4	5	66805,9	4,53
	Resíduo	73754,0	5	14750,79	
	Total	407783,3	10		
90 minutos ($R^2=89,46\%$) mod.completo	Regressão	381632,0	5	76326,4	10,08
	Resíduo	37861,4	5	7572,3	
	Total	419493,4	10		
135 minutos ($R^2=76,25\%$) mod.completo	Regressão	184686,7	5	36937,3	3,35
	Resíduo	55130,0	5	11026,0	
	Total	239816,7	10		

$$R_{max_{90\text{minutos}}} = 900,739 - 159,589 \cdot x_1 - 41,748 \cdot x_1^2 + 93,361 \cdot x_2 - 62,286 \cdot x_2^2 + 139,167 \cdot x_1 \cdot x_2$$

(Eq. 5.5)



Figuras 10. Superfície de resposta e curvas de contorno para resposta *resistência máxima* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale e da porcentagem de enzima adicionada (base seca de farinha) a 90 minutos.

Pode-se observar, pela Figura 10, que as duas variáveis independentes apresentaram comportamentos para a resposta R_{max} muito semelhantes aos encontrados para a resposta R . É possível verificar uma faixa diagonal onde a atuação da enzima tende a ser máxima, retornando os maiores valores de R_{max} para as diferentes porcentagens de substituição de farinha, e evidenciando também que para sistemas com maior quantidade de farinha de trigo, a adição excessiva de enzima causa uma redução no R_{max} da massa. Esse dado corrobora com as afirmações de Gerrard *et al.* (1998) de que a adição de quantidades excessivas de MTGase em farinhas fortes pode prejudicar sua utilização em panificação.

5.5.2.4 Extensibilidade – Ext (mm)

A Tabela 31 apresenta os valores de extensibilidade (Ext) das massas, obtido após tempos de 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 31. Extensibilidade das massas nas leituras 45, 90 e 135 minutos.

Ensaio	X_1^{*1}	X_2^{*2}	Ext (mm)	Ext (mm)	Ext (mm)
			45 min	90 min	135 min
1	14,54	0,12	113,5	84,7	74,5
2	85,46	0,12	98,5	94,3	81,2
3	14,54	0,68	99,2	71,3	64,5
4	85,46	0,68	104,0	73,2	53,7
5	0	0,40	98,3	71,3	59,5
6	100	0,40	93,5	68,7	61,8
7	50	0	125,5	108,3	104,8
8	50	0,80	91,0	62,0	56,3
9	50	0,40	104,3	76,0	59,3
10	50	0,40	107,8	79,2	61,7
11	50	0,40	83,8	81,7	66,2
Trigo^{*3}	-	-	116,5	102,2	85,5
Triticale^{*3}	-	-	112,0	98,8	94,2

*1 porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticale; *2 porcentagem em base seca de farinha; *3 farinha pura.

A Tabela 32 apresenta os coeficientes de regressão e seus respectivos p-valores para a resposta *Ext*. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

Tabela 32. Coeficiente de regressão para resposta *extensibilidade* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Variáveis	45 minutos		90 minutos		135 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u>98,660</u>	<u>0,000015</u>	<u>78,931</u>	<u>0,000003</u>	<u>62,398</u>	<u>0,000008</u>
x₁ (L)	-2,129	0,589159	0,970	0,673905	-0,110	0,958738
x₁ (Q)	-0,955	0,836890	-3,663	0,216963	-1,428	0,579543
x₂ (L)	-7,206	0,108417	<u>-12,516</u>	<u>0,002216</u>	<u>-13,275</u>	<u>0,001227</u>
x₂ (Q)	5,248	0,287011	3,966	0,186715	<u>8,590</u>	<u>0,016184</u>
(x₁) * (x₂)	4,958	0,385256	-1,958	0,551471	-4,375	0,185871
R²	57,67%		88,86%		92,43%	

Pode-se verificar, com a análise dos valores de R² na Tabela 32, que a explicação da resposta foi mais precisa nas leituras realizadas com 90 e 135 minutos. Em 45 minutos, nenhuma das variáveis foi estatisticamente significativa ($p < 0,10$) e o R² foi de apenas 57,67%. Com 90 minutos de descanso, a variável x₂ (L) foi significativa com R² de 88,86%. O melhor resultado foi obtido em 135 minutos, com x₂ (L) e (Q) significativas e R² de 92,43%.

As ANOVAs simplificadas, apenas com os coeficientes mais significativos ($p < 0,19$) para as leituras a 90 e 135 minutos, são apresentadas na Tabela 33. Não foi realizada ANOVA para o modelo a 45 minutos, devido ao seu baixo R².

Para os dois tempos de leitura, foi encontrado F calculado maior que F tabelado (3,07), sendo 3,9 vezes maior para 90 minutos e 8,6 vezes maior para 135 minutos de tempo de leitura. Esses resultados, juntamente os coeficientes de determinação de 87,51% e 91,90% para 90 e 135 minutos, respectivamente, nos permitem extrair as Equações 5.6 e 5.7 que predizem os resultados para essa variável. As Figuras 11a e 11b representam as Equações 5.6 e 5.7, respectivamente.

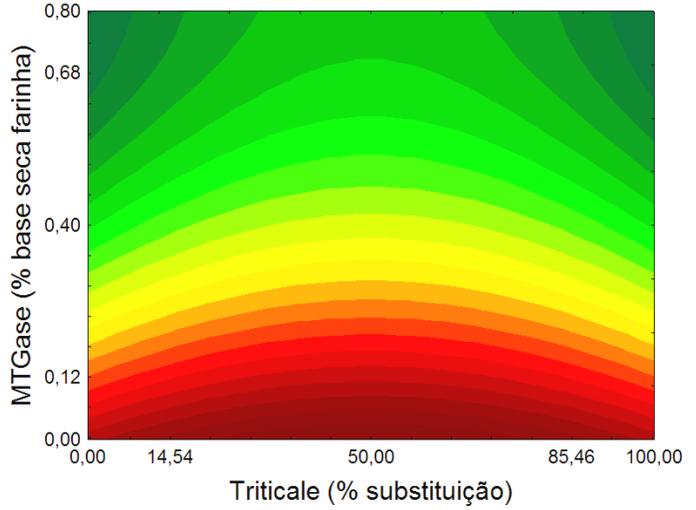
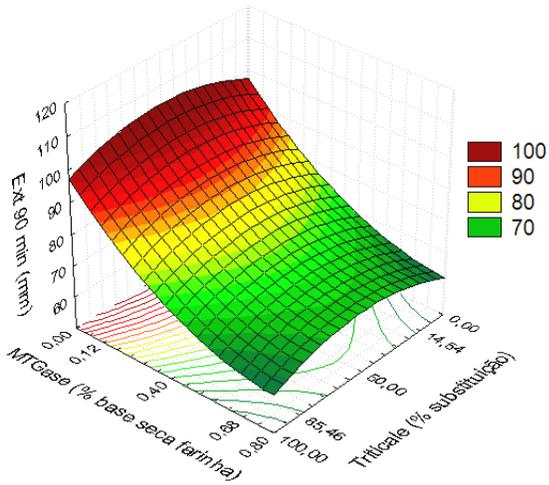
Tabela 33. ANOVA para resposta *Ext* nos tempos de leitura 90 e 135 minutos.

Tempo de leitura	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
90 minutos (R ² =87,51%) simplificada	Regressão	1412,7	3	470,911	11,85
	Resíduo	278,2	7	39,7401	
	Total	1690,9	10		
135 minutos (R ² =91,90%) simplificada	Regressão	1978,7	3	659,568	26,47
	Resíduo	174,4	7	24,9184	
	Total	2153,1	10		

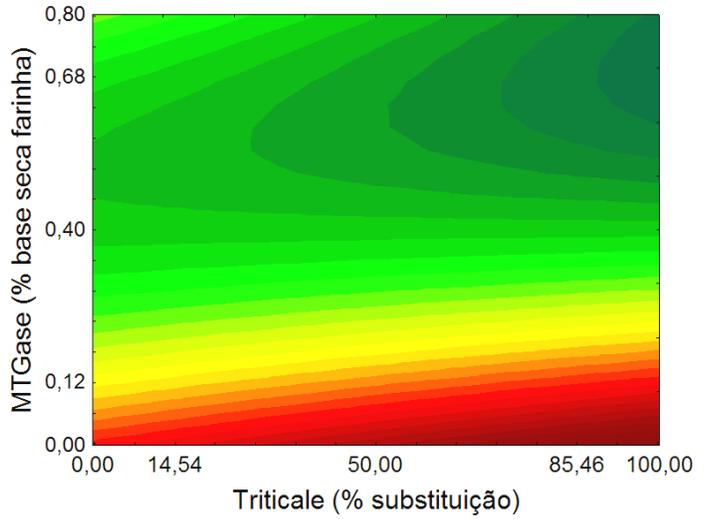
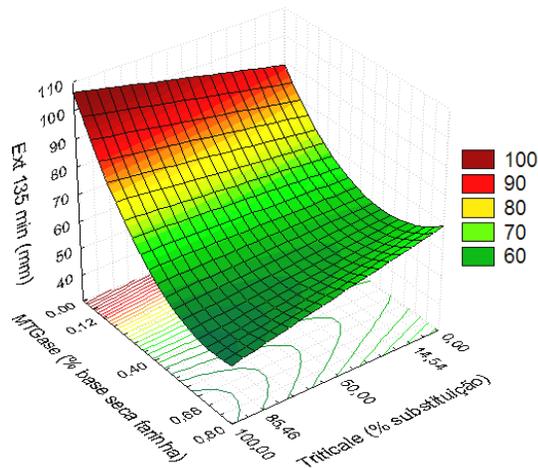
$$Ext_{90\text{minutos}} = 78,9314 - 3,6626*x_1^2 - 12,516*x_2 + 3,9662*x_2^2 \quad (\text{Eq. 5.6})$$

$$Ext_{135\text{minutos}} = 61,0605 - 13,2751*x_2 + 9,006 *x_2^2 - 4,375*x_1*x_2 \quad (\text{Eq. 5.7})$$

A análise das Figuras 11a e 11b mostram que para os dois tempos de leitura, triticales e MTGase provocam efeitos diferentes na extensibilidade da massa. Enquanto o triticales parece ter apenas um leve efeito sobre a extensibilidade, aumentando seu valor, a enzima MTGase diminuiu consideravelmente os valores de *Ext* quanto é utilizada em uma maior concentração na mistura. O efeito é ainda mais pronunciado nas leituras com 135 minutos de descanso da massa. Essa ação da MTGase na extensibilidade já era esperada, visto que, com o aumento das ligações na rede de glúten a extensibilidade da massa passa a ficar comprometida.



(a)



(b)

Figuras 11. Superfícies de resposta e curvas de contorno para resposta *extensibilidade* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale e da porcentagem de enzima adicionada (base seca de farinha) nos tempos: (a) 90 minutos e (b) 135 minutos.

5.5.2.5 Número proporcional – D

O valor de D, que representa a relação entre resistência à extensão e extensibilidade, indica o comportamento da massa. Quanto maior o seu valor, maior a tendência ao encolhimento da massa. A Tabela 34 apresenta os valores de número proporcional (D) das massas nos tempos de 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 34. Número proporcional (D) das massas nas leituras 45, 90 e 135 minutos.

Ensaio	X ₁ ^{*1}	X ₂ ^{*2}	D ^{*3} 45 min	D ^{*3} 90 min	D ^{*3} 135 min
1	14,54	0,12	6,9	11,8	12,4
2	85,46	0,12	4,6	4,4	6,7
3	14,54	0,68	9,7	14,0	13,4
4	85,46	0,68	6,6	13,2	12,1
5	0	0,40	9,7	14,0	13,7
6	100	0,40	3,4	7,9	7,2
7	50	0	3,9	6,1	6,3
8	50	0,80	5,8	12,9	8,4
9	50	0,40	5,6	11,7	12,4
10	50	0,40	5,8	12,3	12,5
11	50	0,40	7,4	10,3	10,9
Trigo ^{*4}	-	-	5,9	9,6	11,6
Triticale ^{*4}	-	-	2,2	3,8	4,0

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticale; *² porcentagem em base seca de farinha; *³ parâmetro adimensional; *⁴ farinha pura.

A Tabela 35 apresenta os coeficientes de regressão e seus respectivos p-valores para a resposta D. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos (p < 0,10).

Todos os tempos de leitura apresentaram coeficientes de determinação satisfatórios com destaque para o D com leitura em 90 minutos (83,12% para 45 minutos, 96,86% para 90 minutos e 82,69% para 135 minutos). Tais valores nos permitem realizar o teste de ANOVA cujos resultados se encontram na Tabela 36.

Tabela 35. Coeficientes de regressão para resposta *D* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Variáveis	45 minutos		90 minutos		135 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u>6,223</u>	<u>0,000284</u>	<u>11,428</u>	<u>0,000002</u>	<u>11,918</u>	<u>0,000060</u>
x₁ (L)	<u>-1,774</u>	<u>0,008656</u>	<u>-2,121</u>	<u>0,000747</u>	<u>-2,027</u>	<u>0,018286</u>
x₁ (Q)	0,486	0,381582	-0,075	0,836555	-0,179	0,809057
x₂ (L)	<u>0,947</u>	<u>0,076092</u>	<u>2,572</u>	<u>0,000302</u>	<u>1,173</u>	<u>0,102682</u>
x₂ (Q)	-0,373	0,494197	<u>-0,814</u>	<u>0,065290</u>	<u>-1,724</u>	<u>0,057393</u>
(x₁) * (x₂)	-0,210	0,740531	<u>1,653</u>	<u>0,009935</u>	1,097	0,243717
R²	83,12%		96,86%		82,69%	

Tabela 36. ANOVA para resposta *D* nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

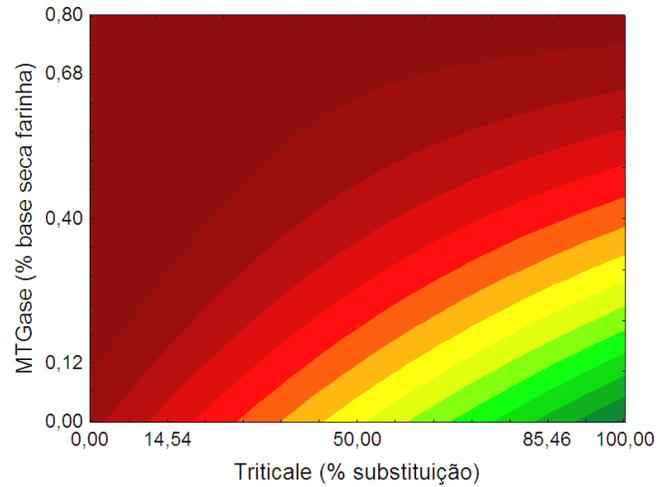
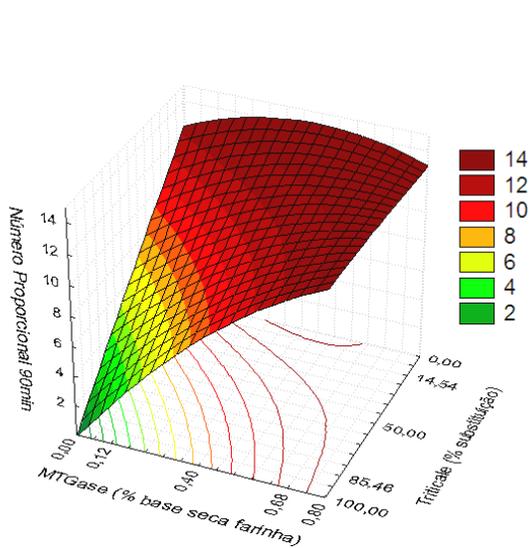
Tempo de leitura	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
45 minutos (R²=83,12%) mod.completo	Regressão	34,5	5	6,9	4,30
	Resíduo	8,0	5	1,60	
	Total	42,6	10		
90 minutos (R²=96,86%) mod.completo	Regressão	103,3	5	20,7	29,70
	Resíduo	3,5	5	0,70	
	Total	106,8	10		
135 minutos (R²=82,69%) mod.simplificado	Regressão	65,7	4	16,4	7,05
	Resíduo	14,0	6	2,3	
	Total	79,6	10		

O valor de F calculado para 45 minutos foi apenas 1,2 vezes maior que o F tabelado (3,45) o que inviabiliza a obtenção de um modelo preditivo para essa resposta. Já, os F calculados para 90 minutos (8,6 vezes maior que o F tabelado de 3,45) e para 135 minutos (2,2 vezes maior que o F tabelado de 3,18, e F calculado da falta de ajuste 2,3 vezes menor que o F tabelado para falta de ajuste de 9,24) são adequados para obtenção de um modelo de predição

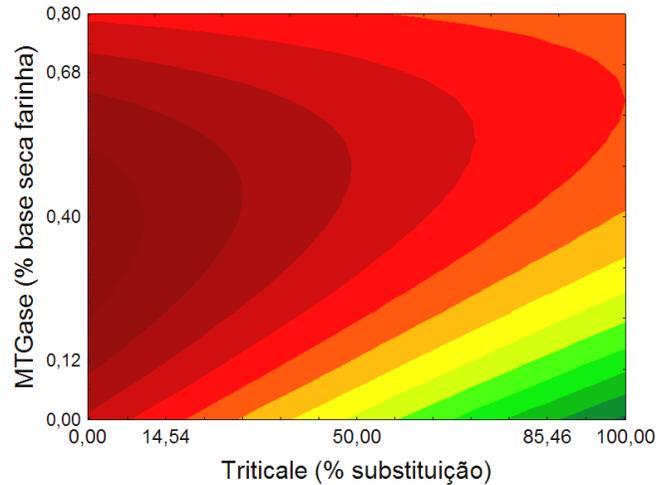
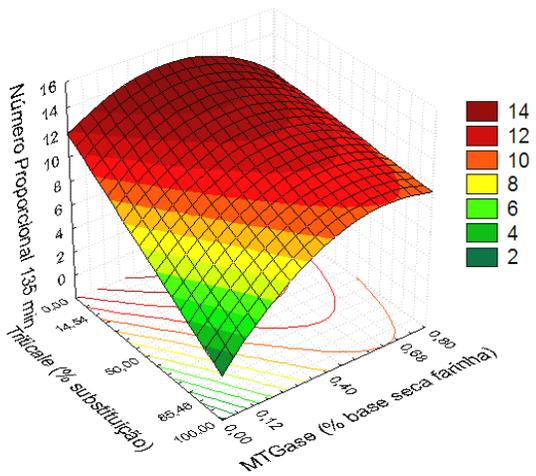
dessas repostas. As Equações 5.8 e 5.9 e Figuras 12a e 12b predizem os valores de *D* nos tempos de 90 e 135 minutos, respectivamente.

$$D_{90\text{minutos}} = 11,428 - 2,121 \cdot x_1 - 0,075 \cdot x_1^2 + 2,572 \cdot x_2 - 0,814 \cdot x_2^2 - 1,653 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (\text{Eq. 5.8})$$

$$D_{135\text{minutos}} = 11,7508 - 2,02692 \cdot x_1 + 1,17252 \cdot x_2 - 1,67212 \cdot x_2^2 - 1,09675 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (\text{Eq. 5.9})$$



(a)



(b)

Figura 12. Superfícies de resposta e curvas de contorno para resposta *D* em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale e da porcentagem de enzima

adicionada (base seca de farinha) nos tempos: (a) 90 minutos e (b) 135 minutos.

A análise das superfícies de resposta da variável D em 90 e 135 minutos mostra que a adição de farinha de tritcale na massa reduz o valor de D em ambos os tempos. Já, a enzima MTGase provoca um aumento no valor de D. Esse efeito passa a ser mais intenso com o aumento do tempo de descanso, chegando até mesmo a evidenciar um pico máximo de resposta de D na concentração de 0,40% de MTGase (base seca de farinha) na superfície da resposta a 135 minutos.

5.5.2.6 Energia – A (cm²)

O parâmetro energia (A) é dado pela área delimitada pela curva extensográfica, expressa em cm². Quanto maior a área, maior a energia requerida para esticar a massa e, portanto, mais forte é a farinha. A Tabela 37 apresenta os valores de energia (A) das massas lidas nos tempos de 45, 90 e 135 minutos.

Tabela 37. Área do gráfico (A) nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Ensaio	X ₁ ^{*1}	X ₂ ^{*2}	A (cm ²)	A (cm ²)	A (cm ²)
			45 min	90 min	135 min
1	14,54	0,12	123,6	113,5	82,7
2	85,46	0,12	60,3	54,4	61,2
3	14,54	0,68	131,5	101,1	72,0
4	85,46	0,68	100,0	91,8	48,4
5	0	0,40	127,4	94,5	59,8
6	100	0,40	46,8	52,1	37,2
7	50	0	90,3	104,6	97,5
8	50	0,80	70,4	64,4	35,1
9	50	0,40	86,1	89,5	57,7
10	50	0,40	98,4	106,7	62,2
11	50	0,40	85,9	87,2	65,2
Trigo^{*3}	-	-	118,1	140,4	122,2
Triticale^{*3}	-	-	44,9	54,7	51,9

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de tritcale; *² porcentagem em base seca de farinha; *³ farinha pura

A Tabela 38 apresenta os coeficientes de regressão e seus respectivos p-valores para a resposta A. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). Pode-se verificar que poucas variáveis foram estatisticamente significativas para a resposta *energia*. Entretanto, os coeficientes de determinação para os três tempos de leitura foram satisfatórios (superiores a 70%), sendo possível, portanto, a realização do teste de ANOVA, apresentado na Tabela 39.

Tabela 38. Coeficientes de regressão para A nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Variáveis	45 minutos		90 minutos		135 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u><i>90,042</i></u>	<u><i>0,000366</i></u>	<u><i>94,388</i></u>	<u><i>0,000170</i></u>	<u><i>61,654</i></u>	<u><i>0,000306</i></u>
x₁ (L)	<u><i>-26,126</i></u>	<u><i>0,009996</i></u>	<u><i>-16,072</i></u>	<u><i>0,038866</i></u>	<u><i>-9,642</i></u>	<u><i>0,073684</i></u>
x₁ (Q)	3,591	0,661824	-7,734	0,313070	-4,434	0,424348
x₂ (L)	2,457	0,720032	-3,974	0,522280	<u><i>-13,970</i></u>	<u><i>0,022217</i></u>
x₂ (Q)	0,183	0,982029	-2,129	0,769943	4,524	0,415600
(x₁) * (x₂)	7,954	0,424365	12,454	0,187533	-0,508	0,936186
R²	77,67%		70,22%		78,23%	

Tabela 39. ANOVA para resposta A nos tempos de leitura 45, 90 e 135 minutos.

Tempo de leitura	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
45 minutos	Regressão	5817,8	5	1163,55	3,46
	Resíduo	1678,3	5	335,657	
	Total	7496	10		
(R²=83,12%) mod.completo					
90 minutos	Regressão	3167,1	5	633,4	2,4
	Resíduo	1306,8	5	261,4	
	Total	4473,9	10		
(R²=96,86%) mod.completo					
135 minutos	Regressão	2524	5	504,802	3,07
	Resíduo	820,6	5	164,128	
	Total	3344,7	10		
(R²=82,69%) mod.simplificado					

Os F calculados para os três tempos de leitura não possibilitaram a obtenção de modelos preditivos para a resposta A (F calculado menor ou igual ao T tabelado - 3,45). Entretanto, a análise dos coeficientes de regressão, que apresentaram p-valores mais baixos (Tabela 39), indica que o triticales causa uma redução do valor de A nos três tempos de leitura, sendo menor esse efeito com o avanço do tempo de leitura. Em 90 minutos de leitura, a interação entre triticales e MTGase esboça um efeito positivo nos valores de A. Por último, em 135 minutos de leitura, a MTGase mostra-se bastante significativa (p-valor = 0,02) na redução área da curva extensográfica.

5.5.2.7 Validação dos dados

A validação dos dados do planejamento experimental realizado para avaliação da reologia das misturas de farinha com a enzima MTGase é apresentada após a realização de todos os testes de produção dos pães, visto que, a escolha dos pontos para validação foi realizada com base na análise das respostas de assamento dos pães de forma, conforme as considerações descritas no item 5.7.

5.6 Análises dos pães de forma produzidos

5.6.1 Volume específico

A Tabela 40 apresenta os resultados para a resposta *volume específico* nos 3 tempos de fermentação, 35, 70 e 105 minutos, e para o pão padrão, com 100% de farinha de trigo.

Tabela 40. Volume específico para os ensaios do planejamento nos tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificado		Real		Volume específico (mL/g)		
	x_1	x_2	X_1^{*1}	X_2^{*2}	35 min.	70 min.	105 min.
1	-1	-1	14,54	0,12	2,96	4,40	5,13
2	1	-1	85,46	0,12	2,32	3,03	3,76
3	-1	1	14,54	0,68	3,11	4,40	5,18
4	1	1	85,46	0,68	3,18	4,00	4,35
5	-1,41	0	0	0,40	2,94	4,04	5,19
6	1,41	0	100	0,40	2,55	3,11	3,47
7	0	-1,41	50	0	2,39	3,02	3,70
8	0	1,41	50	0,80	3,65	4,45	5,70
9	0	0	50	0,40	2,85	4,13	5,14
10	0	0	50	0,40	2,72	4,21	4,75
11	0	0	50	0,40	3,68	4,56	5,56
PADRÃO	-	-	0	0	3,03	4,23	5,10

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de tritcale / *² porcentagem em base seca de farinha.

É possível verificar um aumento no volume específico dos pães em função do aumento do tempo de fermentação. Esse crescimento foi em média de 35% do primeiro para o segundo tempo de fermentação, e de 20% do segundo para o terceiro tempo de fermentação. Com a análise dos resultados de volume específico e da análise visual dos pães obtidos foi possível evidenciar que, para todas as formulações utilizadas, o tempo de 35 minutos de fermentação foi insuficiente para obtenção de volumes específicos próximos aos padrões. Esse resultado é contrário aos trabalhos de Tsen *et. al.* (1973) que sugerem uma elevada redução do tempo de

fermentação das formulações com triticale para obtenção de pães com volumes iguais ao pão padrão de trigo. Esta discrepância observada pode ser devido à diferença do comportamento entre o cultivar de triticale estudado por estes autores e o triticale utilizado no presente trabalho.

5.6.1.1 Análise dos DDCRs para a resposta *volume específico*

A Tabela 41 apresenta os coeficientes de regressão dos 3 planejamentos realizados (30, 70 e 105 minutos) e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). A tabela completa com todas as informações dos coeficientes de regressão se encontram no Anexo V.

Tabela 41. Coeficientes de regressão para a resposta *volume específico* dos pães de forma.

Variáveis	35 minutos		70 minutos		105 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u>3,083402</u>	0,000023	<u>4,299718</u>	0,000002	<u>5,149473</u>	0,000005
x₁ (L)	-0,139608	0,313784	<u>-0,388245</u>	0,014952	<u>-0,580546</u>	0,012927
x₁ (Q)	-0,167201	0,312192	<u>-0,286863</u>	0,074093	<u>-0,389790</u>	0,086917
x₂ (L)	<u>0,349563</u>	<u>0,037849</u>	<u>0,373180</u>	0,017363	<u>0,433606</u>	0,037059
x₂ (Q)	-0,029268	0,851815	-0,206403	0,166085	-0,202014	0,320865
(x₁) * (x₂)	0,179690	0,354327	0,240385	0,171676	0,134472	0,562675
R²	69,57%		87,21%		84,56%	

Pode-se verificar que apesar do planejamento de 35 minutos ter apresentado um baixo coeficiente de explicação ($R^2 = 69,57\%$), o que exclui sua utilização para descrever o modelo, todas as variáveis mostraram o mesmo comportamento nos 3 tempos de fermentação. Para os planejamentos de 70 e 105 minutos, as variáveis x_1 (L), x_1 (Q) e x_2 (L) foram estatisticamente significativas ($p < 0,10$).

As ANOVAs com todos os coeficientes para o modelo de 70 minutos e apenas com os coeficientes significativos para o modelo de 105 minutos são apresentadas na Tabela 42.

Tabela 42. ANOVA para a resposta *volume específico* dos pães de forma.

Planejamento	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
70 minutos (R ² =87,21%) mod.completo	Regressão	3,243842	5	0,648768	10,53
	Resíduo	0,308175	5	0,061635	
	Total	3,552016	10		
105 minutos (R ² =79,63%) mod.simplificado	Regressão	4,858278	3	1,619426	9,12
	Resíduo	1,243056	7	0,177579	
	Total	6,101334	10		

Para o planejamento de 70 minutos de fermentação, foi encontrado um coeficiente de explicação de 87,21% e um F calculado 3,1 vezes maior que o F tabelado (3,45) ao nível de 10% de significância. Esse resultado valida o modelo obtido, podendo ser utilizado para descrever o modelo, conforme a Equação 5.10.

$$\text{VOLUME ESPECÍFICO}_{70\text{minutos}} = 4,299718 - 0,388245 \cdot x_1 - 0,286863 \cdot x_1^2 + 0,373180 \cdot x_2 - 0,206403 \cdot x_2^2 + 0,240385 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (\text{Eq. 5.10})$$

Já, para o planejamento de 105 minutos de fermentação, foi encontrado um coeficiente de explicação de 79,63%, utilizando-se apenas os coeficientes estatisticamente significativos (apresentados no Anexo V) e um F calculado 3,0 vezes superior ao F tab (3,07), ao nível de 10% de significância. Esse resultado credita o modelo obtido, podendo ser utilizado para descrever o modelo, conforme a Equação 5.11.

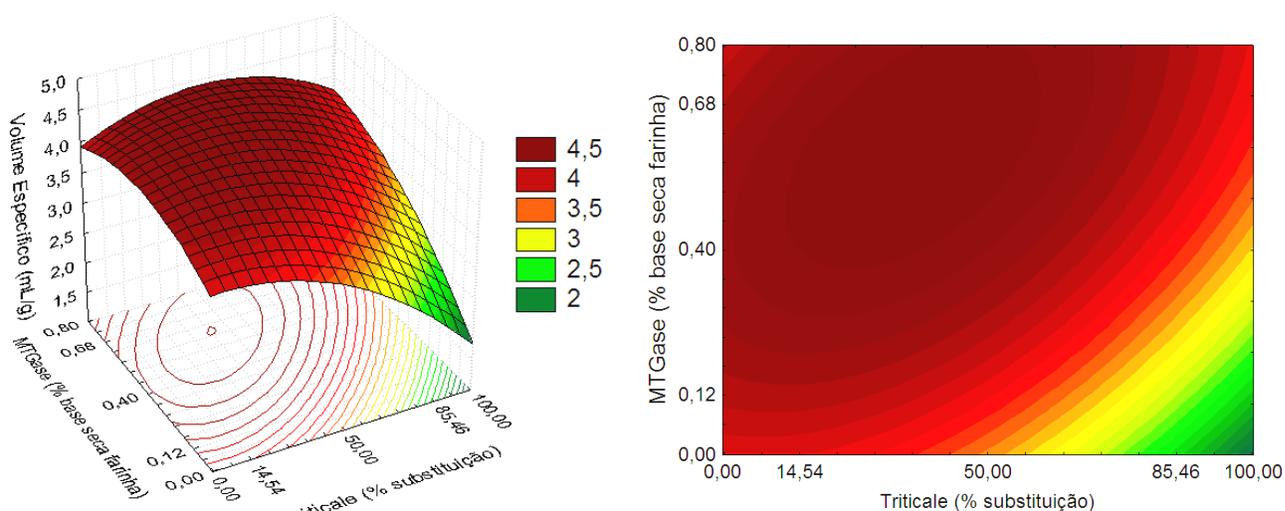
$$\text{VOLUME ESPECÍFICO}_{105\text{minutos}} = 4,960310 - 0,580546 \cdot x_1 - 0,330929 \cdot x_1^2 + 0,433606 \cdot x_2^2 \quad (\text{Eq. 5.11})$$

Os modelos encontrados (Equação 5.10 e 5.11) apresentam uma boa predição dos valores experimentais, o que pode ser comprovado nas Tabelas 122 do Anexo VI, apresentando desvio médio de 5,7%.

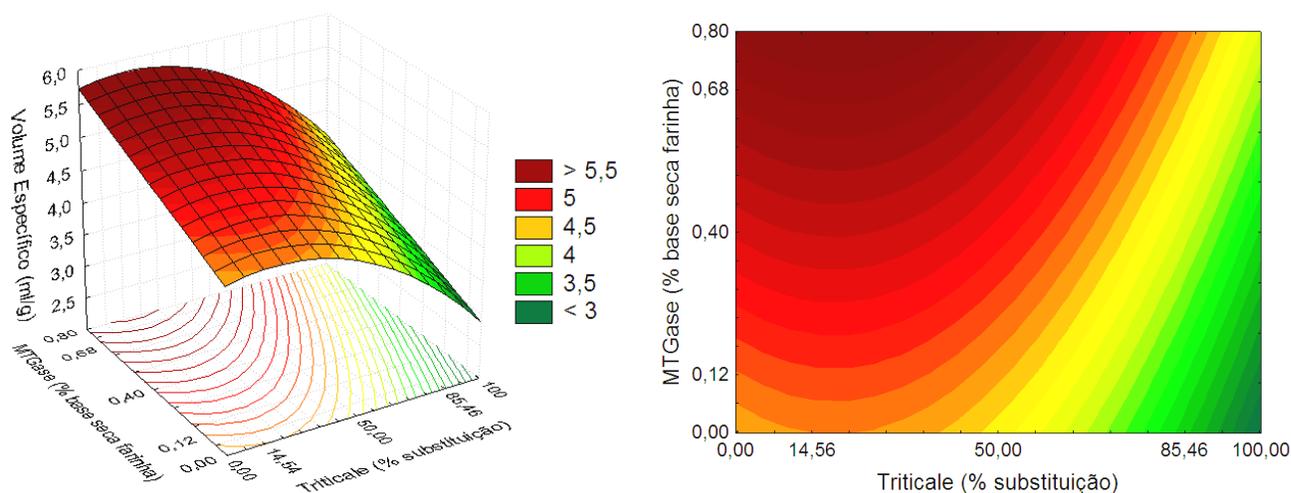
Dessa forma, foi possível construir as superfícies de resposta e as curvas de contorno para os dois modelos (Figuras 13a e 13b).

Analisando a superfície de resposta, pode-se verificar que a adição de uma certa quantidade de tritcale na formulação do pão, até aproximadamente 30% de substituição, contribuiu para uma melhora no desempenho de crescimento do pão, com resultados de volume específico superiores ao pão padrão com 100% de farinha de trigo. Entretanto, com o aumento da substituição, houve uma piora no seu crescimento. Já, a adição da MTGase mostrou-se positiva para essa resposta, com efeito mais pronunciado em elevadas porcentagens de substituição de farinha, fornecendo melhores resultados de volume específico quanto maior a adição de enzima, dentro da faixa estudada. Contudo, é importante lembrar que estudos anteriores (GERRARD, 1998) indicaram que grandes quantidades de MTGase na formulação de pães dificultam o seu crescimento, tornando a massa muito forte e assim causando maior resistência.

Nos ensaios, foi possível observar visualmente que os pães com maiores quantidades de tritcale e menores quantidades de enzima não eram capazes de reter o ar produzido na fermentação, comprometendo assim a manutenção do volume durante o salto de forno. Tal observação prática corrobora com os dados obtidos para essa resposta.



(a)



(b)

Figura 13: Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro *Volume Específico* dos pães de forma em função de triticale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para: (a) planejamento 70 minutos e (b) planejamento 105 minutos.

5.6.2 Firmeza

A Tabela 43 apresenta os resultados para a resposta *firmeza* nos 3 tempos de fermentação 35, 70 e 105 minutos, e para o pão padrão, com 100% de farinha de trigo.

Pode-se observar que o tempo de fermentação influenciou positivamente na diminuição da firmeza dos pães. Houve um decréscimo entre os intervalos de fermentação, com redução média de 34% na força de compressão do primeiro para o segundo tempo, e de 29% do segundo para o terceiro tempo de fermentação. Como já era esperado, o maior crescimento dos pães com o aumento do tempo de fermentação diminuiu a densidade das fatias, tornando-as mais macias. Dentre os valores encontrados, apenas o planejamento a 35 minutos de fermentação apresentou valores de firmeza realmente elevados para um pão de forma com 1 dia de vida de prateleira. Dentre os outros planejamentos, apenas os ensaios 2 e 6, que continham maiores quantidades de triticale e menores quantidades de enzima, apresentaram valores de firmeza muito elevados (maiores que 300 g). Em todos os tempos de fermentação, é possível observar valores de firmeza menores que o pão padrão, principalmente nos ensaios com 1, 3, 5, 8 e 11, que apresentaram pães mais macios nos três tempos de fermentação.

Tabela 43. Valores de firmeza para os planejamentos 35, 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificado		Real		Firmeza (g)		
	x_1	x_2	X_1^{*1}	X_2^{*2}	35 min.	70 min.	105 min.
1	-1	-1	14,54	0,12	212,6	116,9	84,0
2	1	-1	85,46	0,12	496,5	420,7	273,7
3	-1	1	14,54	0,68	200,8	137,7	76,0
4	1	1	85,46	0,68	291,2	182,9	147,2
5	-1,41	0	0	0,40	224,5	133,3	86,8
6	1,41	0	100	0,4	497,4	403,6	325,1
7	0	-1,41	50	0	428,2	252,0	195,3
8	0	1,41	50	0,80	172,5	114,5	77,2
9	0	0	50	0,40	257,1	164,2	123,4
10	0	0	50	0,40	288,5	181,6	125,8
11	0	0	50	0,40	155,9	107,7	78,0
Padrão	-	-	0	0	240,8	140,1	100,6

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticales / *² porcentagem em base seca de farinha.

5.6.2.1 Análise dos DDCRs para a resposta *Firmeza*

A Tabela 44 apresenta os coeficientes de regressão dos 3 planejamentos realizados e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). A tabela completa com todas as informações dos coeficientes de regressão encontram-se no Anexo V.

Com base na Tabela 44, é possível verificar que os planejamentos apresentaram bons coeficientes de explicação (R^2), todos superiores a 90%. Todas as variáveis tiveram o mesmo comportamento, sendo que x_2 (Q) não foi estatisticamente significativa ($p < 0,10$) para nenhum dos tempos de fermentação.

A ANOVA apenas com os coeficientes significativos para os 3 tempos de fermentação estão apresentados na Tabela 45.

Tabela 44. Coeficientes de regressão para resposta *firmeza* dos pães de forma.

Variáveis	35 minutos		70 minutos		105 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u>233,9350</u>	0,000622	<u>151,2304</u>	0,000174	<u>109,1656</u>	0,000946
x₁ (L)	<u>95,1437</u>	0,003943	<u>91,5365</u>	0,000186	<u>74,8387</u>	0,000565
x₁ (Q)	<u>56,1016</u>	0,054887	<u>56,0073</u>	0,003970	<u>42,0756</u>	0,014575
x₂ (L)	<u>-72,4085</u>	0,012110	<u>-51,5034</u>	0,002652	<u>-37,7503</u>	0,011184
x₂ (Q)	25,6211	0,306305	13,1590	0,289656	7,0217	0,567902
(x₁) * (x₂)	-48,3917	0,128755	<u>-64,6401</u>	0,004419	<u>-29,6378</u>	0,081183
R²	90,90%		97,25%		94,96%	

Tabela 45. ANOVA para resposta *firmeza* dos pães de forma.

Planejamento	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
35 minutos (R²=82,52%) mod.simplificado	Regressão	128502,6	3	42834,20	11,02
	Resíduo	27216,1	7	3888,02	
	Total	155718,7	10		
70 minutos (R²=96,48%) mod.simplificado	Regressão	121366,0	4	30341,49	41,09
	Resíduo	4430,19	6	738,365	
	Total	125796,1	10		
105 minutos (R²=94,58%) mod.simplificado	Regressão	69362,6	4	17340,7	26,17
	Resíduo	3975,2	6	662,529	
	Total	73337,8	10		

As ANOVAs mostram que os três modelos são adequados para descrever o comportamento da firmeza em seus respectivos tempos de fermentação. O planejamento de 35 minutos de fermentação tem um coeficiente de explicação de 90,90%, com F calculado 3,6 vezes maior que F tabelado (3,07). Para 70 minutos, o coeficiente de explicação é o mais elevado (96,48%) com F calculado 12 vezes maior que F tabelado (3,18). Por último, o

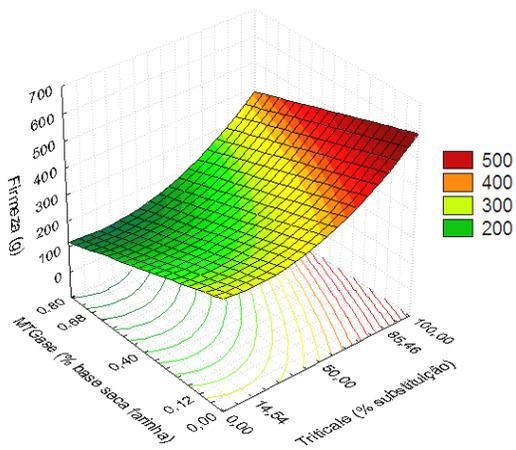
planejamento de 105 minutos apresentou um coeficiente de determinação também elevado (94,58%) com o F calculado aproximadamente 8 vezes maior que o F tabelado (3,18).

Portanto, é possível extrair as Equações 5.12, 5.13 e 5.14 que predizem a firmeza dos pães de forma nos tempos de 35, 70 e 105 minutos de fermentação, respectivamente, e suas superfícies de resposta e as curvas de contorno presentes na Figura 14.

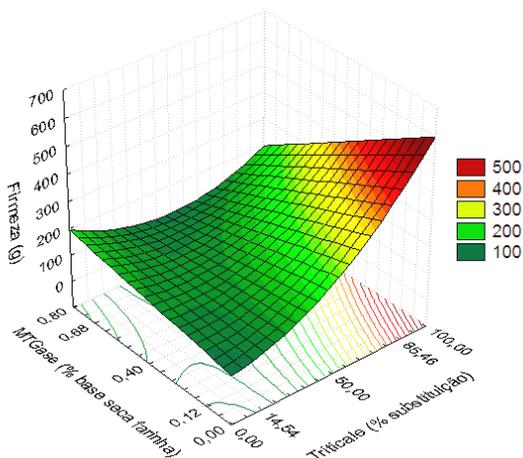
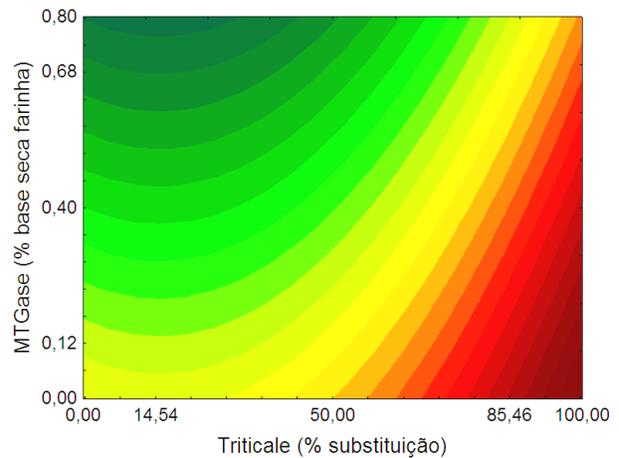
$$\text{Firmeza}_{35\text{minutos}} = 257,9262 + 95,1437x_1 + 48,6363x_1^2 - 72,4085x_2 \quad (\text{Eq. 5.12})$$

$$\text{Firmeza}_{70\text{minutos}} = 163,5523 + 91,5365x_1 + 52,5365x_1^2 - 51,5034x_2 - 64,6401x_1x_2 \quad (\text{Eq. 5.13})$$

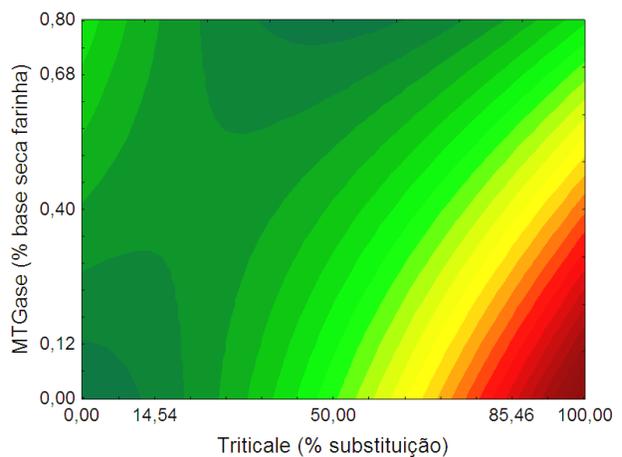
$$\text{Firmeza}_{105\text{minutos}} = 115,7406 + 74,8387x_1 + 40,0297x_1^2 - 37,7503x_2 - 29,6378x_1x_2 \quad (\text{Eq. 5.14})$$



(a)



(b)



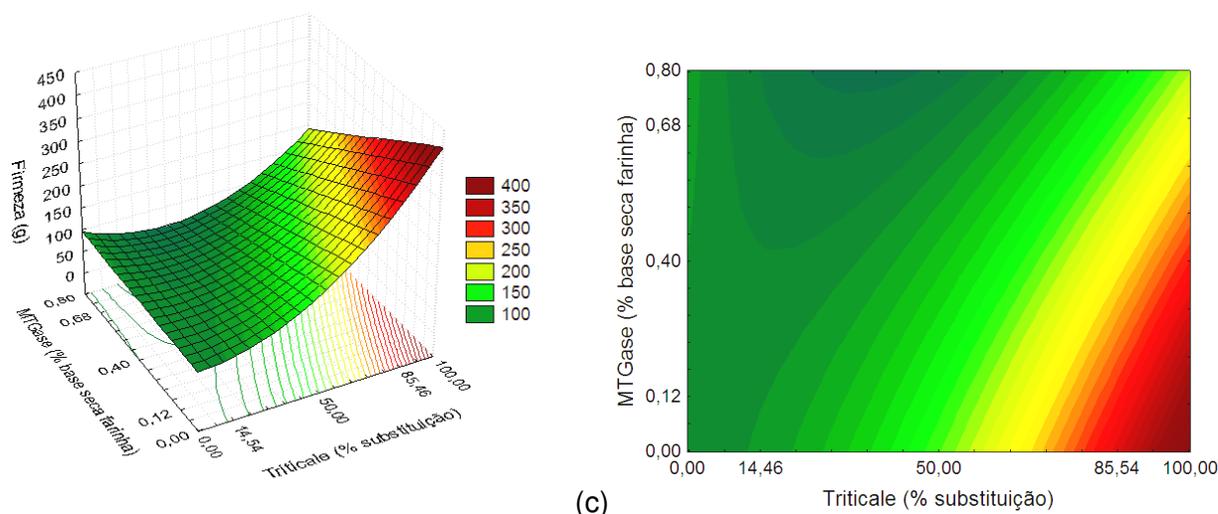


Figura 14: Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro *Firmeza* dos pães de forma em função de triticale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para: (a) planejamento 35 minutos, (b) 70 minutos e (c) 105 minutos.

Pelas superfícies de resposta e curvas de contorno, pode-se verificar que a adição de triticale na formulação em valores superiores a 10% elevou os valores de firmeza dos pães, tornando-se mais intensa em valores superiores a 50% de substituição, chegando a apresentar uma força de compressão 4 vezes maior quando a substituição é realizada em seu nível máximo (100%). Com a adição da MTGase, as superfícies de resposta indicam uma manutenção da firmeza dos pães com substituição de até 70% farinha, no nível máximo de enzima estudado, sendo encontradas na superfície regiões em que a firmeza do pão é igual ou até mesmo menor que a firmeza do pão padrão.

O coeficiente de correlação de Pearson (Anexo VII) para a resposta *firmeza* e *volume específico* é de -0,92, demonstrando uma grande correlação negativa entre as duas respostas, isto é, quanto maior o volume específico do pão de forma, menor o valor de firmeza encontrado.

5.6.3 Umidade

A Tabela 46 apresenta os resultados para a resposta *umidade* nos 3 tempos de fermentação 35, 70 e 105 minutos, e para o pão padrão, com 100% de farinha de trigo.

Tabela 46. Umidade para os ensaios dos planejamentos com tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificado		Real		Umidade (%)			
	DCCR	x_1	x_2	X_1^{*1}	X_2^{*2}	35 min.	70 min.	105 min.
1		-1	-1	14,54	0,12	45,02	45,22	43,91
2		1	-1	85,46	0,12	38,61	40,00	38,67
3		-1	1	14,54	0,68	39,59	38,64	40,60
4		1	1	85,46	0,68	39,44	39,73	39,02
5		-1,41	0	0	0,40	44,11	44,48	44,18
6		1,41	0	100	0,40	38,98	40,07	39,48
7		0	-1,41	50	0	40,24	38,36	39,61
8		0	1,41	50	0,80	41,13	40,55	40,32
9		0	0	50	0,40	36,49	39,77	40,57
10		0	0	50	0,40	39,30	39,05	39,09
11		0	0	50	0,40	38,98	38,99	40,61
Padrão		-	-	0	0	40,75	39,42	43,60

*¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de tritcale / *² porcentagem em base seca de farinha.

Não houve uma tendência de variação da umidade nos 3 tempos de fermentação entre os ensaios realizados. Pode-se verificar apenas que a maioria deles não sofreu grandes oscilações nos 3 tempos. Com exceção dos ensaios 1 e 5, que continham menor maior quantidade de tritcale e menor quantidade de enzima, os demais apresentaram valores de umidade entre 38 e 41% em pelo menos 1 dos tempos de fermentação. Em relação ao padrão, os resultados foram, em sua maioria, inferiores, principalmente com 105 minutos de fermentação, onde apenas 2 formulações apresentaram umidade superior ao pão padrão. Contudo, os valores encontrados não descartam nenhuma das formulações.

5.6.3.1 Análise dos DDCRs para a resposta *Umidade*

A Tabela 47 apresenta os coeficientes de regressão dos 3 planejamentos realizados e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). A tabela completa com todas as informações dos coeficientes de regressão se encontram no Anexo V.

Tabela 47. Coeficientes de regressão para resposta *umidade* dos pães de forma para os tempos de fermentação de 30, 70 e 105 minutos.

Variáveis	35 minutos		70 minutos		105 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u><i>38,25843</i></u>	<u><i>0,000000</i></u>	<u><i>39,26991</i></u>	<u><i>0,000000</i></u>	<u><i>40,09206</i></u>	<u><i>0,000000</i></u>
x₁ (L)	<u><i>-1,74522</i></u>	<u><i>0,015938</i></u>	<u><i>-1,29737</i></u>	<u><i>0,074557</i></u>	<u><i>-1,68700</i></u>	<u><i>0,002662</i></u>
x₁ (Q)	<u><i>1,51871</i></u>	<u><i>0,047783</i></u>	<u><i>1,51731</i></u>	<u><i>0,078864</i></u>	<u><i>0,78538</i></u>	<u><i>0,083673</i></u>
x₂ (L)	-0,41939	0,429395	-0,47167	0,451135	-0,24563	0,457706
x₂ (Q)	1,10877	0,115261	0,09887	0,891493	-0,15205	0,693784
(x₁) * (x₂)	<u><i>1,56500</i></u>	<u><i>0,072346</i></u>	1,57750	0,110804	<u><i>0,91698</i></u>	<u><i>0,086783</i></u>
R²	84,33%		74,46%		89,25%	

Com base na Tabela 47, é possível verificar que os planejamentos com 35 e 105 minutos de fermentação tiveram melhores coeficientes de explicação e ambos tiveram 3 variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,10$): x₁ (L), x₁ (Q) e a interação entre x₁ e x₂.

A ANOVA com todos os coeficientes para os planejamentos de 35 e 70 minutos e apenas com os coeficientes significativos para 105 minutos de fermentação estão apresentados na Tabela 48..

As ANOVAs mostram que apenas os coeficientes com tempo de fermentação de 35 e 105 minutos são bons para descrever o comportamento da umidade, pois, além de apresentarem coeficientes de explicação satisfatórios, 84,23 e 87,49%, respectivamente, também obtiveram F calculados maiores que F tabelados ($F_{cal_{35min}}$ é 3 vezes mais que o $F_{tab_{35min}}$ e $F_{cal_{105min}}$ é 5,3 vezes maior que $F_{tab_{105min}}$). Já, o planejamento de 70 minutos de fermentação apresentou R² de 74,44% e F calculado menor que o F tabelado (3,45) e, portanto, é inadequado para descrever o modelo.

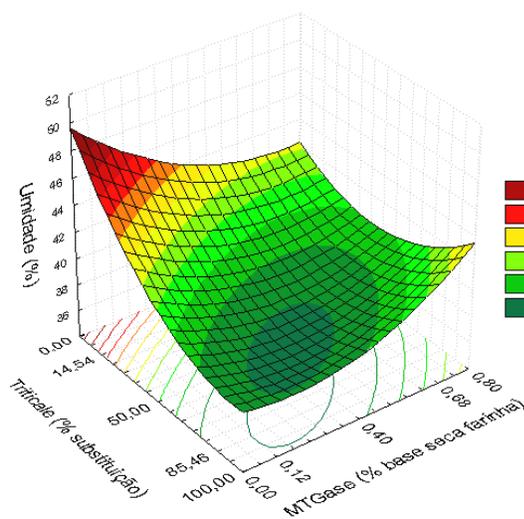
Tabela 48. ANOVA para resposta *umidade* dos pães de forma para os tempos de fermentação de 30, 70 e 105 minutos.

Planejamento	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
35 minutos (R ² =84,23%) mod.completo	Regressão	55,3005	5	11,0601	10,38
	Resíduo	5,3283	5	1,06566	
	Total	60,6288	10		
70 minutos (R ² =74,44%) mod.completo	Regressão	38,1052	5	7,62104	2,73
	Resíduo	13,9614	5	2,79228	
	Total	52,0666	10		
105 minutos (R ² =87,49%) mod.simplificado	Regressão	30,2772	3	10,0924	16,32
	Resíduo	4,32950	7	0,618500	
	Total	34,6067	10		

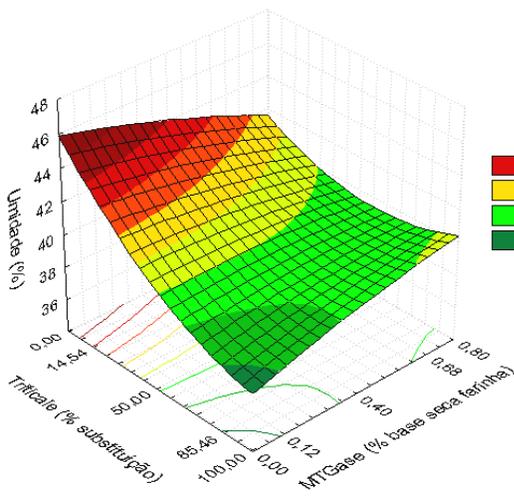
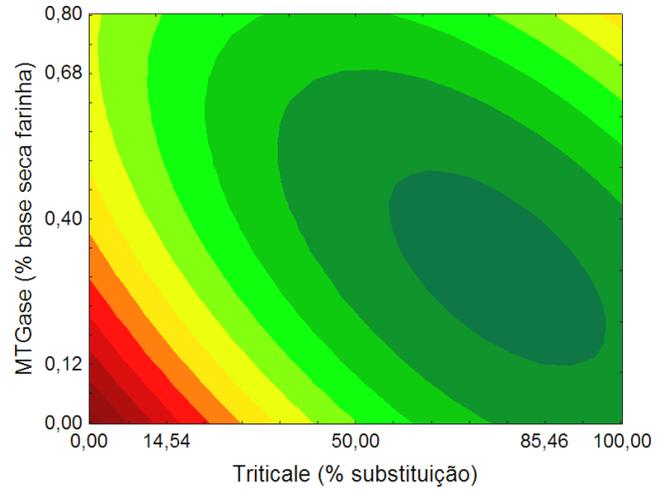
A seguir, são apresentadas as equações para os planejamentos 35 e 105 minutos (Equação 5.15 e 5.16, respectivamente), seguidas das Figuras 15a e 15b com as superfícies de resposta e as curvas de contorno que predizem a firmeza dos pães de forma.

$$\text{Umidade}_{35\text{minutos}} = 38,25843 - 1,74522*x_1 + 1,51871*x_1^2 - 0,41939*x_2 + 1,10877*x_2^2 + 1,56500*x_1*x_2 \quad (\text{Eq. 5.15})$$

$$\text{Umidade}_{105\text{minutos}} = 39,9497 - 1,6870*x_1 + 0,829677*x_1^2 + 0,916979*x_1*x_2 \quad (\text{Eq. 5.16})$$



(a)



(b)

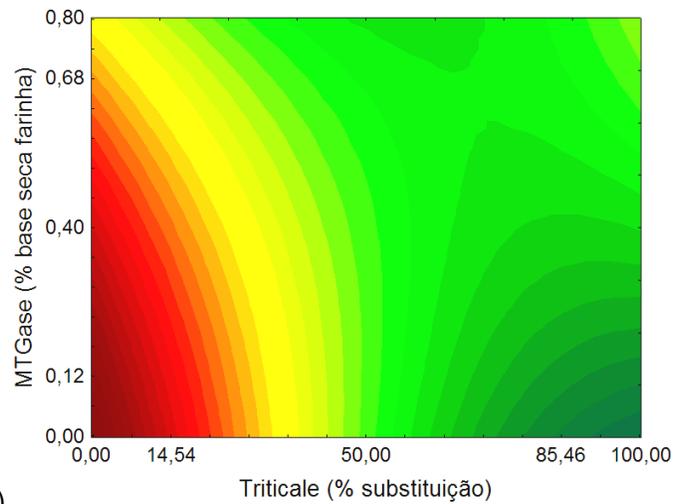


Figura 15: Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro *Umidade* dos pães de forma em função de triticales (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para: (a) planejamento 35 minutos e (b) planejamento 105 minutos.

Com base na superfície de resposta e nas curvas de contorno geradas pelo modelo, pode-se dizer que quanto maior a substituição da farinha de trigo por farinha de triticales menores são as respostas dos valores de umidade dos pães. Já, a adição da enzima mostrou efeito negativo para umidade em índices de substituição de farinha menores que 50% e efeito positivo no aumento da umidade em substituições maiores que 50%. Em relação ao pão padrão, grande parte da superfície indica que os resultados de umidade obtidos nessas formulações seriam 2% inferiores aos resultados obtidos com o pão padrão.

5.6.4 Atividade de água

A Tabela 49 apresenta os resultados para a resposta *atividade de água* nos 3 tempos de fermentação 35, 70 e 105 minutos, e para o pão padrão, com 100% de farinha de trigo.

Tabela 49. Atividade de água para os ensaios dos planejamentos com tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificado		Real		Atividade de água			
	DCCR	x ₁	x ₂	X ₁ ^{*1}	X ₂ ^{*2}	35 min.	70 min.	105 min.
1		-1	-1	14,54	0,12	0,942	0,941	0,938
2		1	-1	85,46	0,12	0,944	0,946	0,944
3		-1	1	14,54	0,68	0,946	0,945	0,945
4		1	1	85,46	0,68	0,948	0,950	0,953
5		-1,41	0	0	0,40	0,960	0,951	0,949
6		1,41	0	100	0,40	0,944	0,939	0,943
7		0	-1,41	50	0	0,942	0,941	0,938
8		0	1,41	50	0,80	0,951	0,946	0,950
9		0	0	50	0,40	0,938	0,940	0,944
10		0	0	50	0,40	0,941	0,935	0,946
11		0	0	50	0,40	0,948	0,947	0,953
Média	-	-	-	-	-	0,946 ± 0,006	0,944 ± 0,005	0,946 ± 0,005
Padrão	-	-	0	0	-	0,949	0,939	0,939

*1 porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de tritcale / *2 porcentagem em base seca de farinha.

Não houve grande variação nos valores de atividade de água entre os 3 tempos de fermentação estudados. Observando os dados de atividade de água, apresentados na Tabela 49, pode-se verificar que os valores variaram de 0,935 a 0,953, faixa considerada como de produto de alta atividade de água.

5.6.4.1 Análise dos DDCRs para a resposta *Atividade de água*

A análise dos coeficientes de regressão para essa resposta *atividade de água* mostrou que nenhuma das variáveis independentes foi estatisticamente significativa ($p < 0,10$) para os

planejamentos com tempos de fermentação de 35 e 70 minutos. Já, no planejamento de 105 minutos de fermentação, apenas a variável x_2 (Q) foi estatisticamente significativa, mas ainda assim com um valor de R^2 de apenas 63,06% (Tabelas no Anexo V). Sendo assim, não foi possível a obtenção de equações para os modelos estudados.

As médias dos valores de atividade de água (Tabela 50) para os diferentes tempos de fermentação são muito próximos, com desvios baixos, que englobam, inclusive, os valores encontrados para o pão padrão com 100% de farinha de trigo. Sendo assim, nas quantidades de utilizadas neste estudo, a farinha de tritcale e a MTGase não alteram a atividade de água dos pães de forma.

5.6.5 Luminosidade (L^*) do miolo

O parâmetro L^* de cor do miolo indica a sua luminosidade, ou seja, o quanto a cor está clara ($L^*=100$) ou escura ($L^*=0$) (Minolta, 2006). A Tabela 50 apresenta os resultados para a resposta *luminosidade* (L^*) nos 3 tempos de fermentação 35, 70 e 105 minutos, e para o pão de forma padrão, com 100% de farinha de trigo.

Tabela 50. Luminosidade (L^*) para os ensaios dos planejamentos com tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificado		Real		Luminosidade (L^*)			
	DCCR	x_1	x_2	X_1^{*1}	X_2^{*2}	35 min.	70 min.	105 min.
1		-1	-1	14,54	0,12	81,16	79,76	80,05
2		1	-1	85,46	0,12	73,88	73,48	71,28
3		-1	1	14,54	0,68	77,72	77,48	77,28
4		1	1	85,46	0,68	75,53	77,11	75,05
5		-1,41	0	0	0,4	80,95	81,72	81,40
6		1,41	0	100	0,4	75,01	73,32	70,85
7		0	-1,41	50	0	74,16	75,34	74,41
8		0	1,41	50	0,8	81,09	80,36	80,72
9		0	0	50	0,4	75,62	76,35	75,74
10		0	0	50	0,4	77,18	80,32	80,56
11		0	0	50	0,4	78,23	80,42	78,23
Padrão		-	-	-	-	80,51	83,86	83,82

^{1*} porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de tritcale / ^{2**} porcentagem em base seca de farinha.

Pode-se observar que houve uma leve variação dos valores de L^* entre os 3 tempos de fermentação. Com o avanço do tempo de fermentação, os resultados entre os ensaios se tornaram mais distintos. É possível avaliar também, que as formulações com maiores porcentagens de substituição de farinha de trigo por tritcale e menores concentrações de enzima (ensaios 2 e 6) apresentaram os menores valores de L^* (71,28 e 70,85, respectivamente).

5.6.5.1 Análise dos DDCRs para a resposta *Luminosidade (L^*)* do miolo

A Tabela 51 apresenta os coeficientes de regressão dos 3 planejamentos realizados e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). A tabela completa com todas as informações dos coeficientes de regressão se encontram no Anexo V.

Tabela 51. Coeficientes de regressão para resposta *luminosidade do miolo*.

Variáveis	35 minutos		70 minutos		105 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u>77,01291</u>	<u>0,000000</u>	<u>79,03285</u>	<u>0,000000</u>	<u>78,18032</u>	<u>0,000000</u>
x_1 (L)	<u>-2,23733</u>	<u>0,028484</u>	<u>-2,31865</u>	<u>0,020930</u>	<u>-3,24409</u>	<u>0,008028</u>
x_1 (Q)	0,30166	0,744543	-0,94189	0,309221	-1,26569	0,222584
x_2 (L)	1,00064	0,230970	1,05667	0,190312	1,24083	0,164299
x_2 (Q)	0,12310	0,893715	-0,77590	0,394117	-0,54138	0,577418
$(x_1) * (x_2)$	1,27250	0,274194	1,47750	0,193978	1,63500	0,189033
R^2	71,88%		77,54%		83,37%	

Para os três planejamentos, apenas a média e a variável x_1 (L) foram estatisticamente significativas. Os coeficientes de explicação estão acima de 70%, com destaque para o planejamento de 105 minutos que apresentou R^2 de 83,37%. Foi avaliado o teste de ANOVA dos três planejamentos, apresentado na Tabela 52.

Os planejamentos com tempo de fermentação de 35 e 70 minutos não apresentaram bons resultados estatísticos. Para 35 minutos, o F calculado foi apenas 1,7 vezes maior que o F tabelado (3,07), enquanto que para 70 minutos o F calculado foi menor que o F tabelado

(3,45). Já, o planejamento com 105 minutos de fermentação apresentou F calculado 2,2 vezes maior que o calculado, que juntamente com um valor satisfatório de R² (82,19%), permite que seja obtida a Equação 5.17.

Tabela 52. ANOVA para a resposta *Luminosidade (L*)* do miolo.

Planejamento	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
35 minutos (R ² =71,20%) mod.simplificado	Regressão	54,3895	3	18,1298	5,77
	Resíduo	22,0030	7	3,14328	
	Total	76,3925	10		
70 minutos (R ² =77,54%) mod.completo	Regressão	68,8609	5	13,7722	3,92
	Resíduo	17,5791	5	3,51582	
	Total	86,4400	10		
105 minutos (R ² =82,19%) mod.simplificado	Regressão	114,430	4	28,6076	6,92
	Resíduo	24,7887	6	4,13145	
	Total	139,219	10		

Sendo assim, é apresentada abaixo a Equação (5.17) que descreve o valor de L* para o planejamento de 105 minutos de fermentação, bem como a Figura 16 com sua superfície de resposta e curvas de contorno.

$$L^*_{105\text{minutos}} = 77,67338 - 3,24409 \cdot x_1 - 1,10795 \cdot x_1^2 + 1,24083 \cdot x_2 + 1,635 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (\text{Eq. 5.17})$$

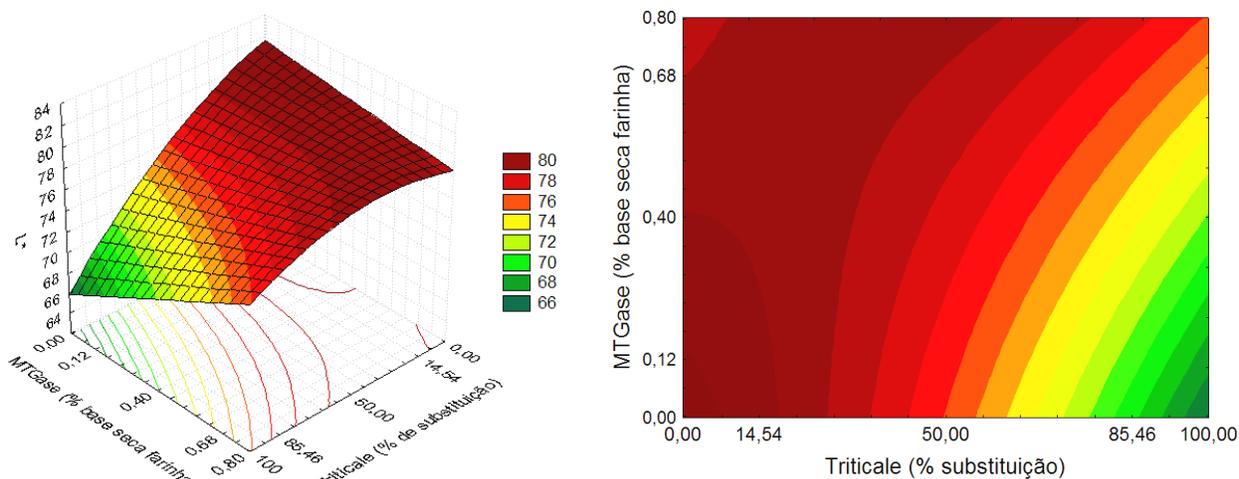


Figura 16: Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro L^* dos pães de forma em função de triticale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para o planejamento com tempo de fermentação de 105 minutos.

Pode-se verificar que sem a adição da MTGase, a substituição da farinha de trigo por triticale na formulação reduziu o valor de L^* . Esse resultado é o oposto do esperado, visto que a farinha de trigo apresentou valor de L^* menor que a farinha de triticale (triticale mais clara $L^* = 93,34 \pm 0,03$ e trigo mais escura $L^* = 91,80 \pm 0,06$). Já, para a MTGase quando maior a sua adição, maior foi a manutenção do L^* em valores mais elevados. Essa resposta da enzima no parâmetro L^* não parece estar relacionada diretamente a sua ação na cor da mistura, mas sim à produção de pães com maiores volumes específicos que, por sua vez, são menos compactos e, portanto, mais claros. O coeficiente de correlação de Pearson para essas respostas é de 0,83 (Anexo VII), indicando que quanto maior o valor do volume específico, maior o valor de L^* .

A superfície mostra que seria possível manter o valor de L^* próximo do valor obtido para o pão padrão em grande parte das possíveis formulações, na faixa de substituição de farinha de trigo e quantidade de MTGase estudada.

A Tabela 125, do Anexo VI, mostra que as variações entre os valores experimentais e o predito pela equação obtida foi de no máximo 3% (em média 1% de erro).

5.6.6 Croma (C*) do miolo

O parâmetro C* da cor do miolo dos pães de forma indica a sua cromaticidade, onde maiores valores de C* correspondem a cores mais saturadas (MINOLTA, 2006). A Tabela 53 apresenta os resultados para a resposta *Croma (C*)* nos tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos, e para o pão padrão, com 100% de farinha de trigo.

Tabela 53. Croma (C*) para os ensaios dos planejamentos com tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificado		Real		Croma (C*)			
	DCCR	x ₁	x ₂	X ₁ ^{*1}	X ₂ ^{*2}	35 min.	70 min.	105 min.
1		-1	-1	14,54	0,12	17,19	16,34	17,80
2		1	-1	85,46	0,12	17,98	18,09	17,99
3		-1	1	14,54	0,68	17,22	16,70	16,00
4		1	1	85,46	0,68	17,55	17,63	17,55
5		-1,41	0	0	0,4	17,99	17,36	16,84
6		1,41	0	100	0,4	18,22	17,96	17,69
7		0	-1,41	50	0	17,84	17,41	17,55
8		0	1,41	50	0,8	17,33	16,82	15,78
9		0	0	50	0,4	75,62	16,73	15,91
10		0	0	50	0,4	17,46	17,06	16,40
11		0	0	50	0,4	17,04	17,01	16,30
Padrão		-	-	0	0	17,98	17,28	16,66

¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticales / ² porcentagem em base seca de farinha.

Pode-se observar que o tempo de fermentação influenciou na queda do valor de C* na maioria dos ensaios realizados, apenas o ensaio 1 apresentou um aumento. Percebe-se também, assim como na resposta L*, uma maior diferenciação entre os resultados nos pães com 105 minutos de fermentação.

5.6.6.1 Análise dos DDCRs para a resposta C*

A Tabela 54 apresenta os coeficientes de regressão dos 3 planejamentos realizados e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). A Tabela completa com todas as informações dos coeficientes de regressão se encontram no Anexo V.

Tabela 54. Coeficientes de regressão para resposta *croma* (C*) do miolo.

Variáveis	35 minutos		70 minutos		105 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u>17,06811</u>	0,000000	<u>16,93263</u>	0,000000	<u>16,20188</u>	0,000000
x₁ (L)	0,18088	0,214073	<u>0,44198</u>	0,016887	<u>0,36841</u>	0,017461
x₁ (Q)	<u>0,43000</u>	0,036482	<u>0,31568</u>	0,088851	<u>0,62664</u>	0,004192
x₂ (L)	-0,13994	0,321153	-0,11640	0,396232	<u>-0,59373</u>	0,002459
x₂ (Q)	0,16820	0,318004	0,04105	0,794964	<u>0,32485</u>	0,049473
(x₁) * (x₂)	-0,11538	0,548723	-0,20517	0,299277	<u>0,34000</u>	0,071428
R²	70,19%		79,32%		93,76%	

Os três planejamentos estudados apresentaram coeficientes de explicação superiores a 70%, com destaque para o planejamento com 105 minutos de fermentação, que apresentou R² de 93,76% e todas as variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,10$). A Tabela 56 mostra os resultados da ANOVA para a resposta C* para os três planejamentos.

Segundo a Tabela 55, o F calculado para o planejamento 35 minutos foi menor que seu F tabelado (3,45), e para o planejamento 70 minutos foi apenas 1,8 vezes maior que seu F tabelado (3,18). Já, o planejamento 105 minutos apresentou F calculado 4,6 vezes maior que o F tabelado (3,45) e, aliado ao alto coeficiente de determinação (93,76%), credita os coeficientes encontrados para extração da equação e gráficos que predizem o modelo estudado.

Tabela 55. ANOVA planejamento com 35, 70 e 105 minutos de fermentação para a resposta C^* do miolo.

Planejamento	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
35 minutos ($R^2=70,19\%$) mod.completo	Regressão	1,6647	5	0,332934	3,34
	Resíduo	0,4974	5	0,099476	
	Total	2,1620	10		
70 minutos ($R^2=79,01\%$) mod.simplificado	Regressão	2,3974	4	0,599352	5,65
	Resíduo	0,6368	6	0,143372	
	Total	3,0342	10		
105 minutos ($R^2=93,76\%$) mod.completo	Regressão	7,1475	5	1,429507	16,09
	Resíduo	0,4443	5	0,088854	
	Total	7,5918	10		

A Equação 5.18 descreve o modelo de C^* a 105 minutos de fermentação e a Figura 17 ilustra a sua superfície de resposta e as curvas de contorno.

$$C^*_{105 \text{ minutos}} = 16,20188 + 0,36841 \cdot x_1 + 0,62664 \cdot x_1^2 - 0,59373 \cdot x_2 + 0,32485 \cdot x_2^2 + 0,34 \cdot x_1 \cdot x_2$$

(Eq. 5.18)

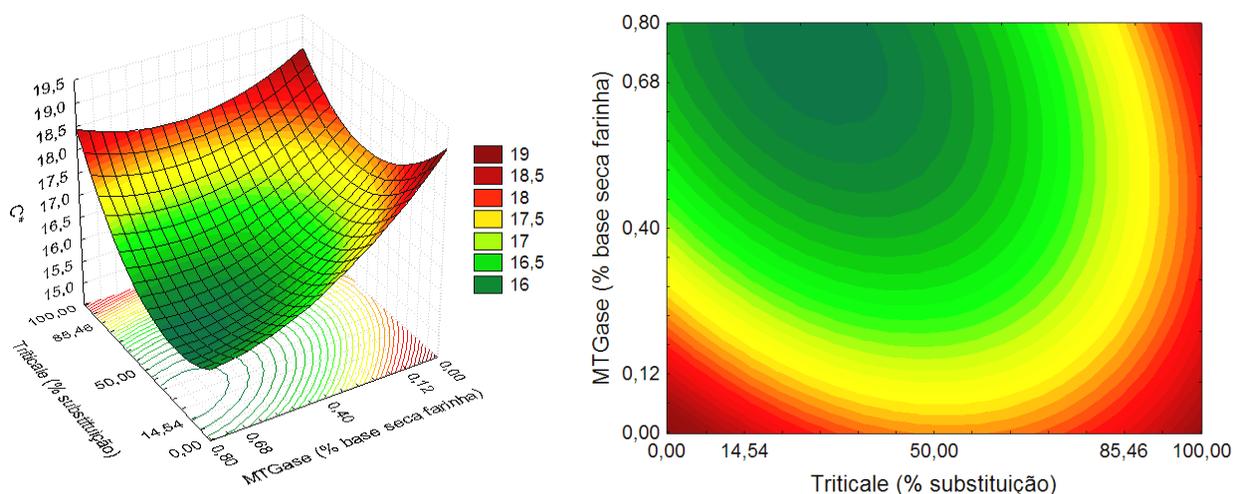


Figura 17: Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro C^* do miolo dos pães

de forma em função de triticales (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha) para o planejamento 105 minutos.

Pela análise da Figura 17, pode-se verificar que a simples adição de triticales, sem a adição da MTGase, não altera significativamente o resultado deste parâmetro. Entretanto, a adição da MTGase parece reduzir os valores de C^* , tornando as cores menos saturadas, principalmente, em seus níveis máximos de adição (entre 0,55 e 0,80%, base seca de farinha). Assim, como na resposta de L^* do miolo, tal resultado parece estar diretamente relacionado à ação da enzima na produção de pães com maior volume específico, sendo menos compactos e, portanto, apresentando cores menos saturadas. O coeficiente de correlação de Pearson entre essas variáveis é de -0,76, o que também confirma essa hipótese, indicando forte correlação negativa, ou seja, quanto maiores os valores de volume específico, menores os valores de C^* .

A Tabela 125, do Anexo VI, mostra que as variações entre os valores experimentais e o predito pela equação obtida foi de no máximo 2% (em média 1% de erro).

5.6.7 h do miolo

O parâmetro h da leitura de cor indica o ângulo de inclinação que começa no vermelho e é expresso em graus: 0° = vermelho ($+a^*$); 90° = amarelo ($+b^*$); 180° = verde ($-a^*$); 270° = azul ($-b^*$) (MINOLTA, 2006).

A Tabela 56 apresenta os resultados para a resposta de cor h nos 3 tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos, e para o pão padrão, com 100% de farinha de trigo.

Tabela 56. Parâmetro de cor h para os ensaios dos planejamentos com os tempos de fermentação de 35, 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificado		Real		h (°)			
	DCCR	x_1	x_2	X_1^{*1}	X_2^{*2}	35 min.	70 min.	105 min.
1		-1	-1	14,54	0,12	89,48	90,66	87,91
2		1	-1	85,46	0,12	84,94	85,60	86,35
3		-1	1	14,54	0,68	87,45	89,25	89,65
4		1	1	85,46	0,68	85,04	85,85	86,53
5		-1,41	0	0	0,4	88,03	89,49	90,50
6		1,41	0	100	0,4	85,02	85,89	86,49
7		0	-1,41	50	0	84,94	85,72	85,83
8		0	1,41	50	0,8	87,38	88,57	89,78
9		0	0	50	0,4	86,02	86,60	87,26
10		0	0	50	0,4	86,88	88,08	89,05
11		0	0	50	0,4	86,94	88,00	88,67
Padrão		-	-	0	0	88,19	89,54	90,59

¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticales / ² porcentagem em base seca de farinha.

Todos os valores encontram-se próximo a 90°, equivalente a cor amarela, com uma leve inclinação para cor vermelha. A análise da Tabela 56 indica que o tempo de fermentação influenciou positivamente no aumento da resposta h para cor do miolo. Quando maior o tempo de fermentação, maior foi o valor de h encontrado, com exceção do ensaio 1 que, assim como na resposta C^* , apresentou uma grande queda no valor a 105 minutos de fermentação.

5.6.7.1 Análise dos DDCRs para a resposta h do miolo

A Tabela 57 apresenta os coeficientes de regressão dos 3 planejamentos realizados e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ($p < 0,10$). A tabela completa com todas as informações dos coeficientes de regressão se encontram no Anexo V.

Tabela 57. Coeficientes de regressão para resposta *h* do miolo.

Variáveis	35 minutos		70 minutos		105 minutos	
	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor	Coef. de regressão	p- valor
Média	<u>86,61180</u>	0,000000	<u>87,55832</u>	0,000000	<u>88,32880</u>	0,000000
x₁ (L)	<u>-1,40344</u>	0,012201	<u>-1,69705</u>	0,008504	<u>-1,29562</u>	0,010271
x₁ (Q)	0,05357	0,907172	0,17270	0,734936	-0,05194	0,898207
x₂ (L)	0,18936	0,627022	0,35838	0,415915	<u>0,93898</u>	0,033685
x₂ (Q)	-0,13002	0,777938	-0,10143	0,841750	-0,39901	0,348665
(x₁) * (x₂)	0,53250	0,350189	0,41500	0,499813	-0,39000	0,432222
R²	76,37%		79,32%		84,02%	

Pela análise da Tabela 58, pode-se verificar que os três planejamentos apresentaram valores de R² satisfatórios (maior que 70%), com destaque para o planejamento com 105 minutos de fermentação com coeficiente de explicação de 84,02%. A Tabela 58 mostra os valores da ANOVA simplificada, apenas com os coeficientes significativos, dos três planejamentos.

Tabela 58. ANOVA para a resposta *h* no planejamento com 105 minutos de fermentação.

Planejamento	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
35 minutos (R ² =69,45%) mod.simplificado	Regressão	15,7102	1	15,7102	20,46
	Resíduo	6,9106	9	0,767848	
	Total	22,6209	10		
70 minutos (R ² =72,90%) mod.simplificado	Regressão	22,9713	1	22,9713	24,21
	Resíduo	8,5381	9	0,948683	
	Total	31,5094	10		
105 minutos (R ² =78,18%) mod.simplificado	Regressão	20,4215	2	10,2108	14,33
	Resíduo	5,69883	8	0,71235	
	Total	26,1204	10		

Pode-se verificar que todos apresentam F calculados foram maiores que os F tabelados ($F_{\text{tab}_{35\text{min}}} = 3,36$; $F_{\text{tab}_{70\text{min}}} = 3,36$; $F_{\text{tab}_{105\text{min}}} = 3,11$). Contudo, o coeficiente de explicação para o tempo de 35 minutos caiu para 69,45% sendo, portanto, baixo para descrever o modelo.

Abaixo são apresentadas as Equações 5.19 e 5.20, que descrevem o valor de h para os tempos de 70 e 105 minutos de fermentação, respectivamente, seguidas das Figuras 18 a e b.

$$h_{70 \text{ minutos}} = 87,61 - 1,69705 \cdot x_1 \quad (\text{Eq. 5.19})$$

$$h_{105 \text{ minutos}} = 88,00182 - 1,29562 \cdot x_1 + 0,93898 \cdot x_2 \quad (\text{Eq. 5.20})$$

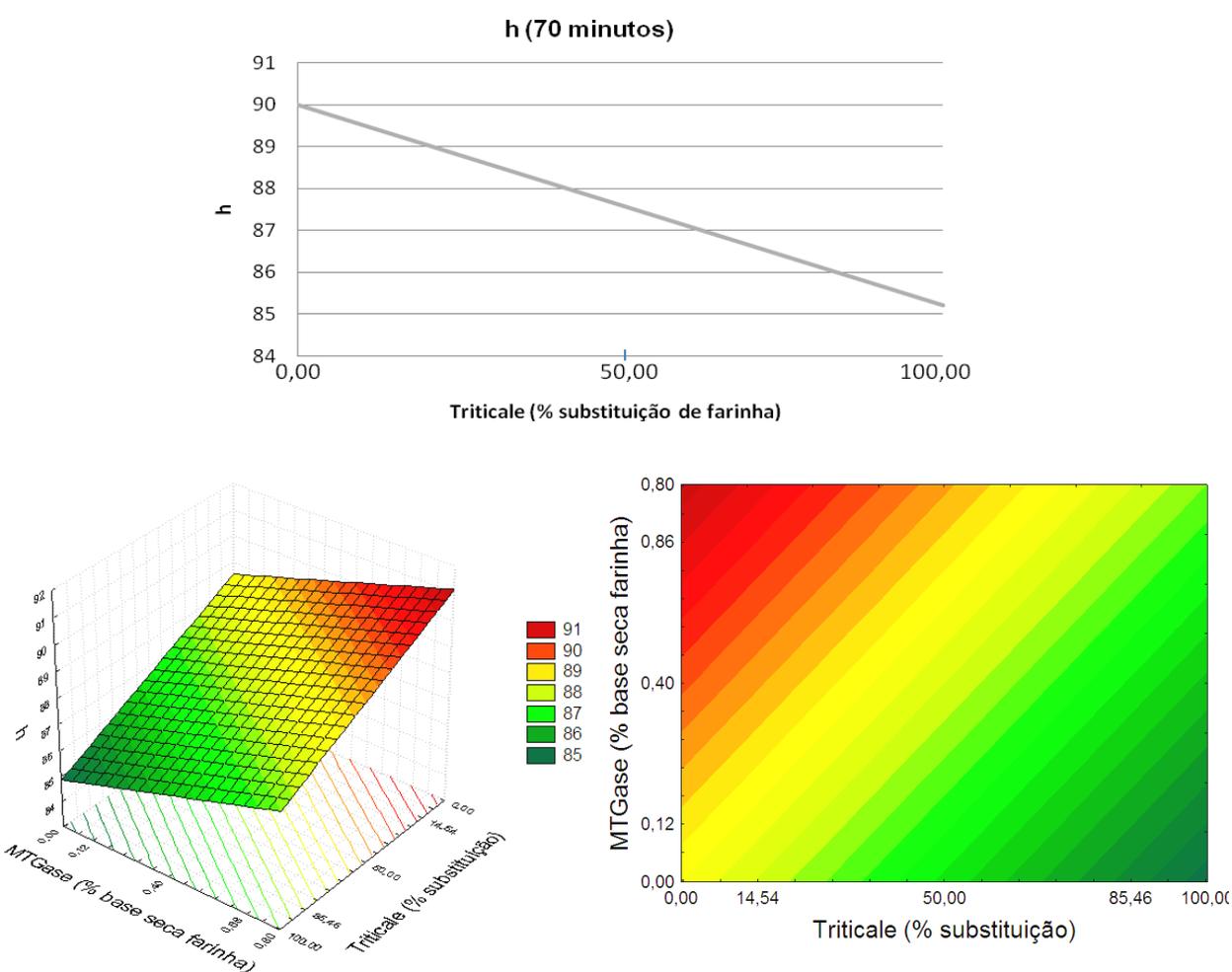


Figura 18: (a) Reta para resposta h em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticale e (b) Superfície de resposta e curvas de contorno para o parâmetro h do miolo dos pães de forma em função de triticale (% de substituição) e MTGase (% base seca farinha)

para o planejamento com tempo de fermentação igual a 105 minutos.

Observa-se, na Figura 18 (a), que a adição de triticales reduz os valores de h . Nesse tempo de fermentação não houve influência significativa da MTGase na resposta. Já na Figura 18 (b), verifica-se que além da adição de triticales reduzir os valores de h , a MTGase apresenta um papel inverso, aumentando os valores de h , o que mantém os resultados em valores mais elevados, quanto maior a adição da enzima na formulação. Assim como nos demais parâmetros de cor, a ação tanto da enzima como do triticales, parece estar diretamente relacionada com os seus efeitos na produção de pães com maior volume específico, que por sua vez, apresentam coloração mais amarelada. O coeficiente de correlação de Pearson entre essas respostas (Anexo VII) é de 0,80, indicando forte correlação positiva, ou seja, quanto maior o valor de volume específico maior o valor de h encontrado.

A Tabela 126, do Anexo VI, mostra que as variações entre os valores experimentais e o predito pela equação obtida foi de no máximo 2% (em média 0,8% de erro).

5.7 Escolha dos parâmetros independentes para validação dos modelos

Dentre as respostas avaliadas no experimento, nas faixas de estudo das variáveis: (i) porcentagem de substituição de farinha de trigo por triticales e (ii) quantidade de enzima MTGase, apenas o volume específico e a firmeza dos pães apresentaram valores que podem comprometer a qualidade dos pães de forma.

Os valores de umidade estão dentro de uma faixa aceitável para produção dos pães, e podem ser melhorados futuramente em novos estudos com alterações na quantidade de emulsificantes da formulação, por exemplo. Já, os valores de atividade de água não tiveram variação significativa, enquanto que os parâmetros de cor apresentaram valores que não restringem nenhuma das formulações possíveis de serem estudadas.

Portanto, a escolha baseou-se apenas nas respostas de *volume específico* e *firmeza* dos dois planejamentos, 70 e 105 minutos de fermentação, que apresentaram valores próximos ao pão padrão, com 100% de farinha de trigo e 105 minutos de fermentação. Pela sobreposição dos planos de predição das duas respostas, foram escolhidos os valores dos parâmetros independentes apresentados na Tabela 59.

Tabela 59. Valores das variáveis para validação do modelo.

Validação	Valor codificado		Valor real	
	x ₁	x ₂	%TTC* ¹	%MTGase* ²
70 minutos	0,3	0,9	60,64	0,65
105 minutos	0,6	1,41	71,28	0,80
Padrão	-	-	0	0

¹ porcentagem de substituição de farinha de trigo por farinha de triticales / ² porcentagem em base seca de farinha.

5.7.1 Validação da reologia

A Tabela 60 apresenta os resultados das leituras farinográficas das misturas escolhidas, validação das formulações com 70 minutos (v70minutos) e 105 minutos (v105minutos) de fermentação, comparando-as com a reologia das farinhas puras (triticales e trigo).

Tabela 60. Dados farinográficos dos pontos da validação e das farinhas puras.

Validação	V70minutos	V105minutos	Farinha de Triticales	Farinha de Trigo
Abs (%)	57,1	57,0	55,4	58,2
TC (min)	1,0	1,0	1,0	1,3
TDM (min)	1,5	1,5	1,0	10,3
TS (min)	3,0	3,0	3,0	17,2
EST (min)	2,0	2,0	2,0	16,0
ITM (UB)	65,0	70,0	80,0	30,0

Pode-se verificar que 50% dos parâmetros reológicos encontrados para as misturas da validação estão compreendidos entre os valores das farinhas puras (Abs, TDM e ITM). Os demais parâmetros (TC, TS e EST) são iguais aos da farinha de triticales pura.

A Tabela 61 apresenta a comparação entre os valores experimentais, obtidos nas leituras de TS e EST dos pontos V70minutos e V150minutos, e os valores preditos para essas coordenadas, utilizando-se as Equações 5.1 e 5.2 encontradas para predição desses parâmetros.

Tabela 61. Desvio relativo entre os preditos e experimentais da validação.

Validação	Predito	V70minutos	Desvio Real	Predito	V105minutos	Desvio Real
TS (min)	2,2	3,0	+0,8	2,0	3,0	+1,0
EST (min)	1,1	2,0	+0,9	0,85	2,0	+1,15

As equações encontradas para predição dos parâmetros farinográficos não foram eficientes para predição das respostas, pois apresentaram desvios em relação aos valores experimentais superiores a 50%, como pode ser observado na Tabela 61.

Tabela 62. Valores da reologia das misturas da validação e desvios relativos.

Resposta	Tempo	Predito V70min	Experimental V70min	Desvio Rel.	Predito V105min	Experimental V105min	Desvio Rel.
Absorção com sal	-	54,3	53,8	-1%	54,2	53,7	-1%
Resistência (R)	45 min	*	626,7	*	*	603,3	*
	90 min	851,6	1000,0	+15%	818,7	840,0	+3%
	135 min	*	620,0	*	*	205,0	*
Resistência Máxima (Rmax)	45 min	*	700,0	*	*	640,0	*
	90 min	1000,1	1000,0	0%	907,7	920,0	+1%
	135 min	*	763,3	*	*	576,7	*
Extensibilidade (Ext)	45 min	*	98,0	*	*	89,5	*
	90 min	70,5	70,7	+0,2%	67,5	65,8	-3%
	135 min	55,2	62,7	+14%	56,5	54,3	-4%
Número Proporcional (D)	45 min	*	7,1	*	*	7,2	*
	90 min	13,9	14,2	+2%	13,6	14,0	+3%
	135 min	10,5	12,2	+16%	7,9	10,6	+34%
Área do Gráfico (A)	45 min	*	*	*	*	82,9	*
	90 min	*	*	*	*	79,4	*
	135 min	*	*	*	*	41,8	*

* respostas sem valor predito

Os resultados da Tabela 62 mostram os valores das leituras de extensografia das misturas escolhidas e seus respectivos desvios em relação ao valor predito pelas equações. Primeiramente, pode-se verificar que os valores reológicos das duas misturas de farinhas utilizadas para a validação da produção dos pães são bastante próximos. A comparação entre os valores de número proporcional (D) das duas farinhas mostra que o comportamento das

duas misturas são semelhantes nos três tempos de leitura, evidenciando que diferentes proporções de farinhas com diferentes concentrações de MTGase foram capazes de produzir massas com propriedades reológicas bastante próximas, e que se adequaram para a produção de pães de forma.

Em relação à validação dos modelos, os desvios encontrados para a resposta *absorção com sal* foram baixos (-1%), apresentando um desvio real de apenas 0,5% nos dois pontos da validação. Esse resultado valida a Equação 5.3 para predição deste parâmetro extensográfico nas condições deste estudo.

Nos tempos de leitura onde foram encontradas equações para predição das respostas, a Tabela 63 mostra que para as leituras a 90 minutos, os resultados foram muito bons, com desvios baixos (+3% para R, 0/+1% para Rmax, +2/-3% para Ext e -0,2/-3% para D) tornando possível a utilização das Equações 5.4, 5.5 e 5.6 para predição de suas respectivas respostas.

Já, para as leituras a 135 minutos, os valores preditos foram mais assertivos apenas para a leitura de Ext no ponto V105minutos (-4%), enquanto os desvios de D no ponto V70minutos (+16%), Ext no ponto V70minutos (+14%) e D no ponto V105minutos (+34%) foram mais elevados.

De um modo geral, a utilização de equações para predição de dados reológicos das misturas de farinhas com a enzima MTGase, dentro das faixas estudadas, pode ser considerada como uma ferramenta auxiliar no desenvolvimento de produtos, principalmente para previsão do efeito que a enzima pode produzir na mistura da massa. Contudo, não deve ser a única ferramenta utilizada, visto que os desvios maiores em alguns tempos de leitura podem comprometer o processo de produção.

5.7.2 Validação dos pães de forma

Devido à grande quantidade de matéria-prima empregada em cada ensaio e o grande número de pães gerados que poderiam ser utilizados para as análises das respostas, a validação dos pães de forma foi realizada em duplicada, incluindo a produção de um pão padrão, com 100% de farinha de trigo e 105 minutos de fermentação para comparação dos resultados.

A Tabela 63 apresenta a média dos resultados obtidos na validação, com seus respectivos desvios, os valores que foram preditos pelos modelos obtidos e o desvio relativo entre o resultado obtido e o predito.

Tabela 63. Média dos resultados da validação e seus respectivos desvios relativos.

Resposta	Validação	Valor predito	Valor experimental	Desvio relativo
Volume específico (mL/g)	70 minutos	4,34	4,07	-6%
	105 minutos	5,1	5,52	+8%
Firmeza (g)	70 minutos	131,94	145,48	+10%
	105 minutos	96,75	94,96	-2%
Umidade (%)	70 minutos	38,82	40,57	+5%
	105 minutos	40,01	40,81	+2%
Aw	70 minutos	*	0,943	*
	105 minutos	*	0,950	*
L	70 minutos	*	81,55	*
	105 minutos	78,46	79,85	+2%
C	70 minutos	*	16,61	*
	105 minutos	17,28	15,58	+11%
h	70 minutos	87,10	90,19	+3,4%
	105 minutos	88,54	91,65	+3,4%

* respostas sem valor predito.

Pela análise dos dados da Tabela 63, pode-se verificar que as principais respostas, *volume específico* e *firmeza*, apresentaram desvios inferiores a 10%. Para o volume específico, a variação foi de -6% (-0,27 mL/g) para o DCCR de 70 minutos e +8% (+0,42 mL/g) para o DDCR de 105 minutos. Já, para a resposta *firmeza*, os valores encontrados foram de +10% (+13,54 g) e -2% (-1,57 g) para os DCCRs de 70 e 105 minutos, respectivamente, consequência direta da variação ocorrida no volume específico dos pães. Portanto, sendo os resultados das duas respostas muito próximos aos valores preditos, é possível considerar os dois modelos encontrados como validados.

Para a resposta *umidade*, a variação de apenas +5% e +2% para os DCCRs de 70 e 105 minutos, respectivamente, também valida os modelos encontrados. O mesmo acontece com os modelos para os parâmetros L^* e h para do delineamento de 105 minutos, com variações de +2% e +3,4, respectivamente. Já, o modelo de predição da resposta C^* não foi considerado por apresentar uma variação maior que 10%. Essa variação acima de 10% no

valor de C* pode estar diretamente relacionada ao valor de volume específico encontrado, também maior que o predito.

Tabela 64. Desvio das respostas da validação em relação ao pão padrão da validação.

Resposta	Validação	Valor experimental	Padrão na Validação	Desvio em relação ao Padrão
Volume específico (mL/g)	70 minutos	4,07	5,71	-29%
	105 minutos	5,52		-3%
Firmeza (g)	70 minutos	145,482	60,371	+141%
	105 minutos	94,963		+57%
Umidade (%)	70 minutos	40,57	40,71	-0,3%
	105 minutos	40,57		-0,3%
Aw	70 minutos	0,943	0,952	-0,9%
	105 minutos	0,950		-0,2%
L	70 minutos	81,55	81,64	-0,1%
	105 minutos	79,85		-2,2%
C	70 minutos	16,61	15,96	+4,1%
	105 minutos	15,58		-2,4%
h	70 minutos	90,19	91,52	-1,5%
	105 minutos	91,65		+0,1%

Na comparação com o pão padrão (Tabela 64), com 100% de farinha de trigo e 105 minutos de fermentação, produzido juntamente com os ensaios da validação, as maiores variações ocorreram entre os resultados de volume específico (1,64 mL/g a menos que o padrão) e firmeza (85,111 g a mais que o padrão) para os pães com 70 minutos de fermentação. Já, em relação ao pão de forma com 105 minutos de fermentação, as variações são bem menores (volume específico 0,19 mL/g a menos e firmeza 34,59 g a mais que o padrão).

Na comparação das respostas dos parâmetros de cor, pode-se verificar que as variações foram também baixas (inferiores a 4,1%). Visivelmente, não foi possível notar grande variação de coloração entre os ensaios da validação.

Já, para as respostas *umidade* e *Aw*, as variações das respostas foram bastante baixas, todas menores que 1%. Sendo assim, a Tabela 65, apresenta os resultados das análises de Tukey com as médias das 3 leituras de cada atributo para cada ensaio realizado na validação. Nela, pode-se verificar que não há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,10$) entre as umidades dos ensaios, mas há diferença entre as atividades de água. Contudo, é importante ressaltar que a variação nos valores de atividade de água foi de apenas 0,011 (de 0,941 a 0,952), valores que, além de bastante próximos, estão dentro da faixa de alta atividade de água ($> 0,900$).

Tabela 65. Teste de Tukey para as respostas *atividade de água* e *umidade*.

Ensaio	Aw	Ensaio	Umidade (%)
Padrão A	0,952 ^a ± 0,002	105 min A	41,30 ^a ± 2,61
Padrão B	0,952 ^a ± 0,006	Padrão A	41,12 ^a ± 5,04
105 min B	0,951 ^a ± 0,002	70 min B	40,74 ^a ± 1,32
105 min A	0,949 ^{ab} ± 0,002	Padrão B	40,58 ^a ± 3,84
70 min B	0,945 ^{bc} ± 0,004	70 min A	40,41 ^a ± 1,49
70 min A	0,941 ^c ± 0,005	105 min B	40,31 ^a ± 3,61

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente entre si ($p < 0,10$). A = ensaio 1 da validação, B = ensaio 2 da validação.

A Figura 19 mostra uma foto comparativa das fatias centrais de pão de forma dos pães da validação V70minutos e V105minutos com o pão padrão produzido juntamente com a validação. É possível verificar visualmente que o volume da formulação V70minutos é inferior aos dois outros pães. Já, o V105 minutos apresenta volume próximo ao padrão. A distribuição dos alvéolos dos pães é homogênea. Contudo, o pão V105minutos parece apresentar a formação de alvéolos maiores do que os demais pães, porém sem comprometer o aspecto visual da fatia.



Figura 19. Pães produzidos na validação dos modelos para os tempos de fermentação de 70 e 105 minutos e o pão padrão produzidos no tempo de fermentação de 105 minutos.

5.7.3 Vida de prateleira (1, 4 e 7 dias)

A análise do envelhecimento dos pães foi realizada após 1, 3 e 7 dias da sua produção. Foram avaliadas apenas as respostas mais significativas para vida de prateleira de pães de forma: firmeza e umidade.

A Figura 20 apresenta a evolução da resposta *firmeza* com base nas médias dos dados coletados dos pães das duas produções da validação e do pão padrão, durante esse período (as médias das leituras estão dispostas nas Tabelas 128 e 129 do Anexo VIII).

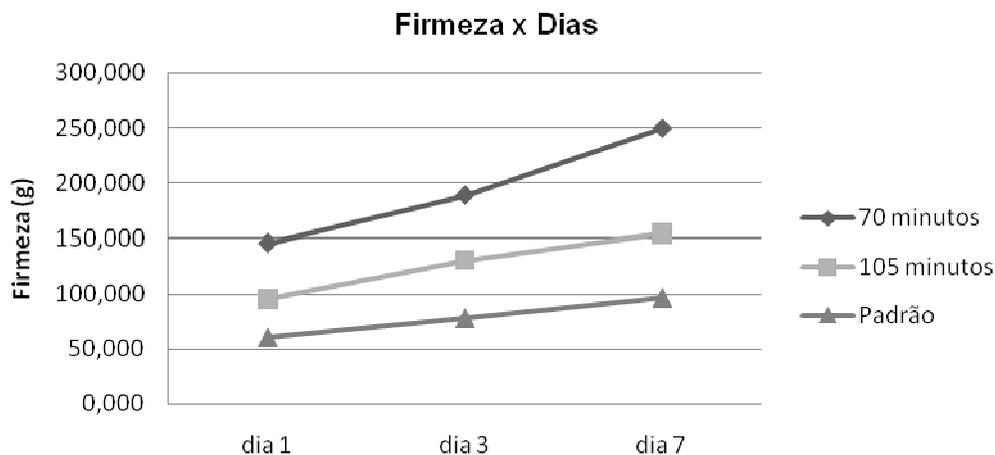


Figura 20. Evolução do valor da resposta *firmeza* dos pães em 1, 3 e 7 dias de vida de prateleira.

Conforme esperado, houve um aumento no valor das respostas de *firmeza* durante o armazenamento dos pães. Contudo, esse aumento parece ser mais expressivo nos pães com triticales, e ainda mais intenso no pão com triticales e 70 minutos de fermentação.

A Figura 21 apresenta a evolução da resposta *umidade* com base nas médias dos dados coletados dos pães das duas produções da validação e do pão padrão, durante esse período (todas as leituras estão dispostas no Anexo VIII).

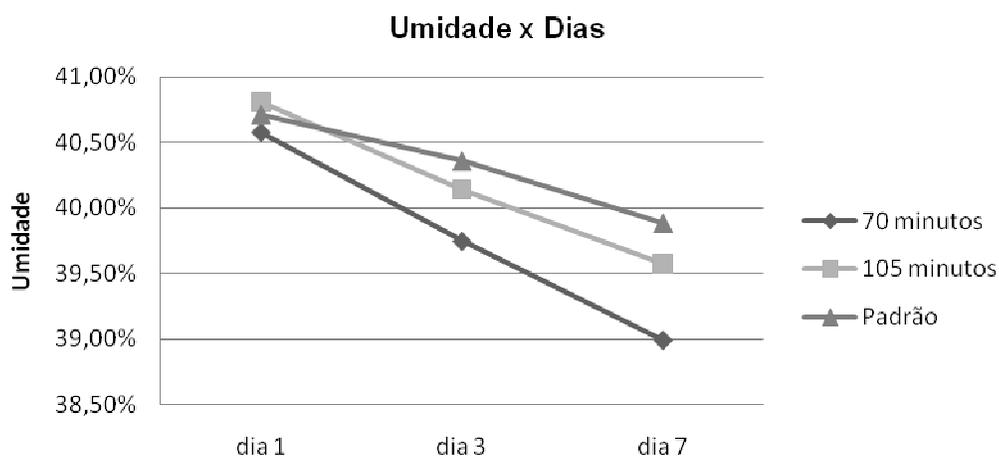


Figura 21. Evolução da umidade dos pães em 1, 3 e 7 dias de vida de prateleira.

Pelo gráfico, pode-se verificar que os valores de umidade se apresentam próximos no primeiro dia de análise, passam a distanciar no terceiro, e se acentuam ainda mais sétimo dia. Assim como a resposta *firmeza*, há uma maior intensidade na piora dessa resposta nos pães com farinha de triticale em sua formulação e ainda mais acentuada no caso dos pães com 70 minutos de fermentação. As respostas de *umidade* e *firmeza* estão diretamente relacionadas, pois com a perda de umidade, a estrutura do pão passa a ser mais rígida, dificultando a penetração do *probe* de leitura instrumental da textura e assim elevando a resposta de *firmeza*.

A Figura 22 ilustra essa dificuldade de penetração do *probe* na leitura da textura dos pães no primeiro e sétimo dia de vida de prateleira, mostrando 10 leituras realizadas para 1 pão do planejamento de 70 minutos de fermentação.

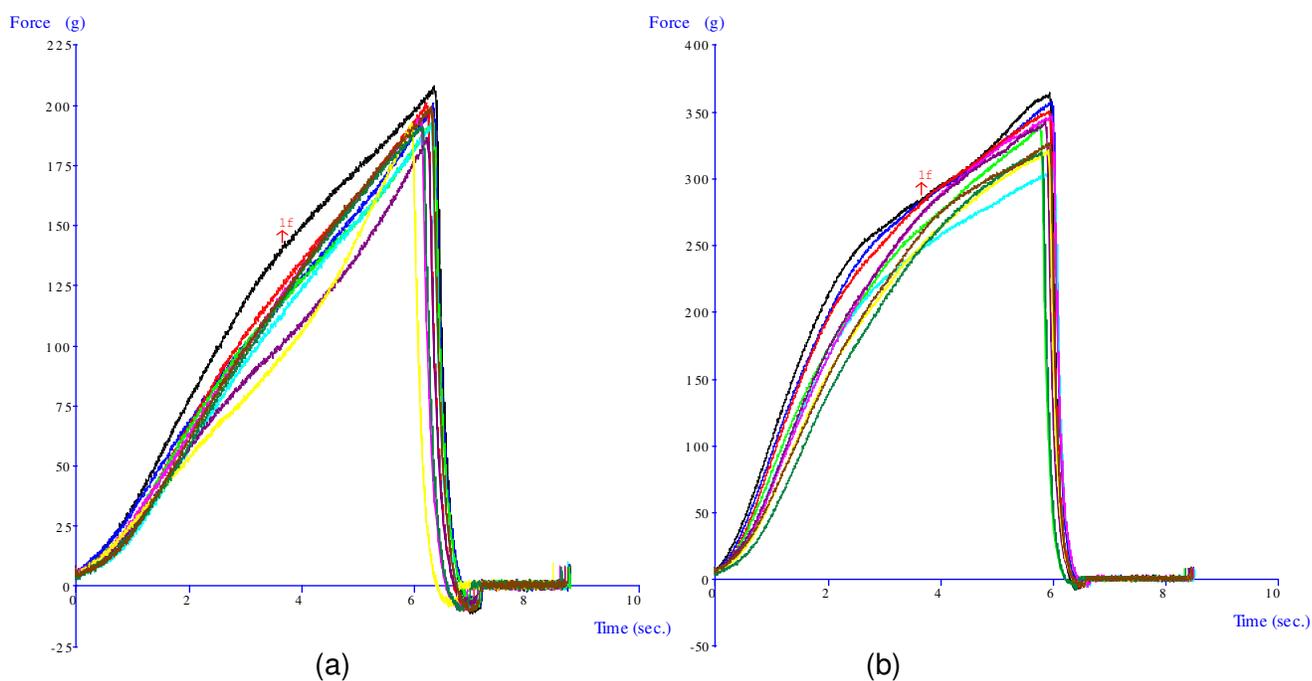


Figura 22. Leituras de textura instrumental do planejamento 70 minutos: (a) dia 1 e (b) dia 7.

5.8 Análise sensorial

Os provadores, após lerem e assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Unicamp (parecer 292/2009), receberam as amostras que foram avaliadas seguindo as perguntas mostradas no Quadro 1 do Anexo II.

A Figura 23 apresenta os gráficos referentes às características dos consumidores que participaram da análise sensorial dos pães de forma.

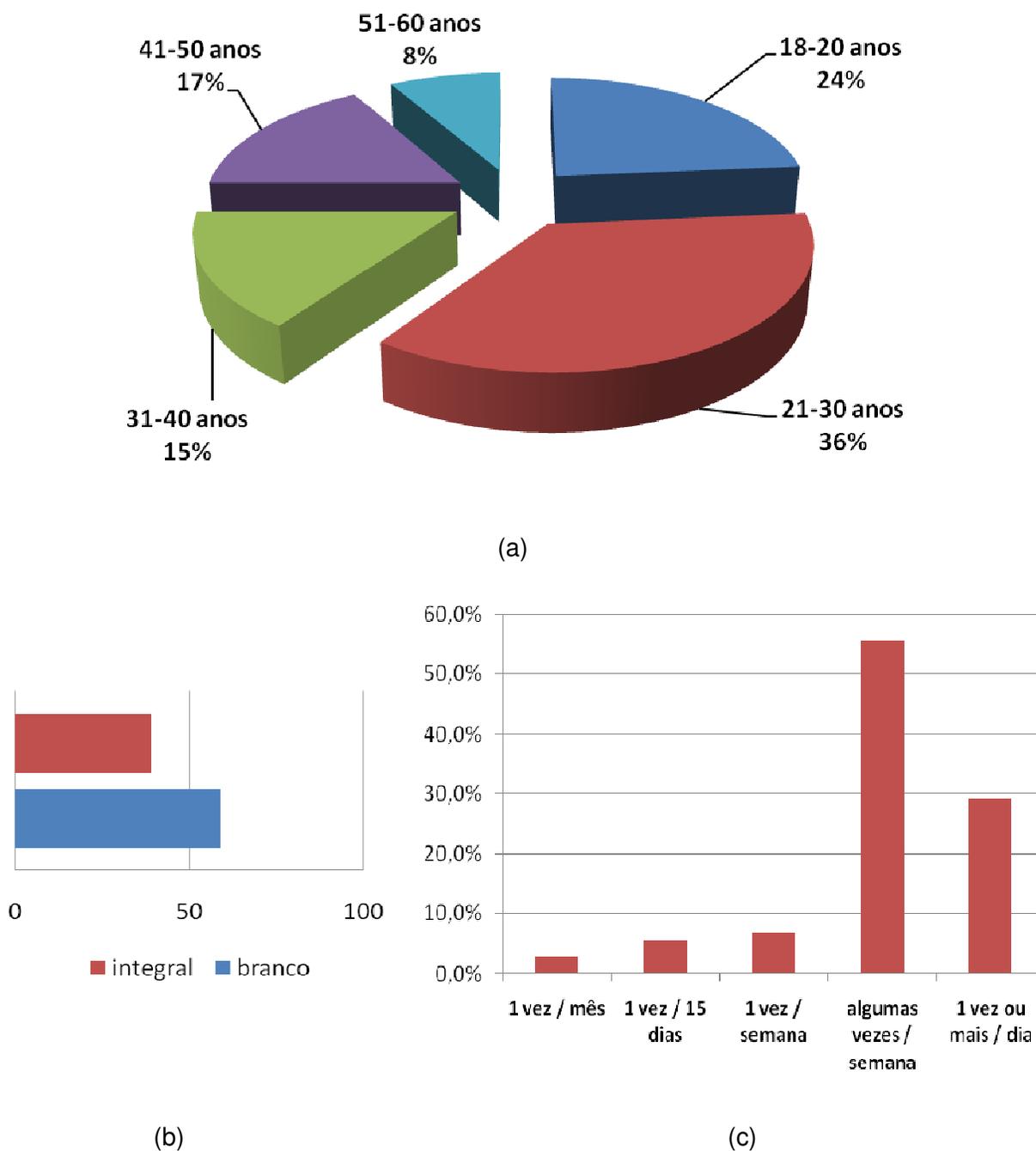


Figura 23. Características dos consumidores: (a) quanto à faixa etária, (b) tipo de pão consumido e (c) freqüência de consumo dos pães.

O perfil dos consumidores participantes da análise sensorial dos pães de forma foi bastante adequado para o estudo em questão. Pode-se verificar que eles tinham idades bem distintas, com maior concentração entre 18 e 30 anos (60%). Todos são consumidores de pão

de forma, a grande maioria consome pão de forma branco e 84,7% deles consome pão de forma algumas vezes por semana ou mais.

A Tabela 66 apresenta a análise das respostas dos provadores, pelo teste de Tukey (5% de significância), para cada um dos atributos avaliados.

Tabela 66. Resultados obtidos no teste para avaliação da aceitabilidade dos produtos de modo global e, em particular, da aparência, aroma, sabor e maciez e na avaliação da intenção de compra das amostras de pão de forma.

Aceitabilidade	Amostras de pão de forma			D.M.S.
	Padrão	V70minutos	V105minutos	
Modo global	7,6 ± 1,1 ^a	7,1 ± 1,4 ^b	7,4 ± 0,9 ^{ab}	0,38
Aparência	7,6 ± 1,1 ^a	7,1 ± 1,3 ^b	7,4 ± 1,0 ^{ab}	0,41
Aroma	7,2 ± 1,3 ^a	7,2 ± 0,9 ^a	7,2 ± 1,2 ^a	0,35
Sabor	7,3 ± 1,2 ^a	7,2 ± 1,3 ^a	7,2 ± 1,2 ^a	0,41
Maciez	7,78 ± 1,35 ^a	6,99 ± 1,76 ^b	7,29 ± 1,37 ^{ab}	0,49
Intenção de	4,2 ± 0,9 ^a	3,8 ± 1,1 ^a	4,1 ± 0,9 ^a	0,34

Resultados expressos como média ± desvio-padrão. D.M.S.: diferença mínima significativa ao nível de erro de 5% pelo Teste de Tukey. Em cada linha, valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de erro de 5%.

Na avaliação da aceitabilidade do aroma e do sabor, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras que obtiveram médias correspondentes a “gostei” na escala empregada. Quanto ao modo global, aparência e maciez, a amostra Padrão, com média situada entre “gostei muito” e “gostei”, diferiu significativamente de V70minutos, que obteve média correspondente a “gostei”. A amostra V105minutos apresentou média intermediária e não diferiu significativamente ($p < 0,05$) nem do Padrão e nem de V70minutos.

Quanto à intenção de compra, não houve diferença significativa entre as amostras, que apresentaram médias correspondentes à “provavelmente compraria” na escala empregada na avaliação.

Tabela 67. Freqüências de aceitação, indiferença e rejeição ao produto de modo global, aparência, aroma, sabor e maciez e freqüências de intenção de compra positiva, indiferente e negativa das amostras de pão de forma avaliadas.

Aceitabilidade		Amostras de pão de forma		
		Padrão	V70minutos	V105minutos
Produto de modo global	Aceitação (%)	98,6	90,2	98,6
	Indiferença (%)	0,0	2,8	0,0
	Rejeição (%)	1,4	7,0	1,4
Aparência	Aceitação (%)	97,2	91,6	97,2
	Indiferença (%)	0,0	1,4	0,0
	Rejeição (%)	2,8	7,0	2,8
Aroma	Aceitação (%)	93,0	97,2	90,3
	Indiferença (%)	4,2	2,8	8,3
	Rejeição (%)	2,8	0,0	1,4
Sabor	Aceitação (%)	95,8	91,6	95,8
	Indiferença (%)	0,0	2,8	1,4
	Rejeição (%)	4,2	5,6	2,8
Maciez	Aceitação (%)	95,8	84,7	91,6
	Indiferença (%)	0,0	2,7	1,4
	Rejeição (%)	4,2	12,6	7,0
Intenção de compra	Positiva (%)	83,4	68,0	73,6
	Indiferente (%)	8,3	19,4	20,8
	Negativa (%)	8,3	12,5	5,6

Na Tabela 67, observa-se que, embora as três amostras tenham apresentado elevadas freqüências de aceitação (em geral acima de 90%) para todos os atributos avaliados, V105 minutos apresentou freqüências de aceitação e rejeição muito próximas das apresentadas pela amostra Padrão. Já, V70minutos foi a amostra que apresentou a maior freqüência de rejeição para o atributo maciez (12,6%) e a maior freqüência de intenção negativa de compra (12,5%).

Os gostos e desgostos descritos pelos consumidores são apresentados nas Tabelas 130 e 131 do Anexo IX, respectivamente. As três amostras apresentaram totais de menções positivas superiores aos totais de menções negativas, sendo que o atributo em que todas mais se destacaram positivamente foi a textura, especialmente Padrão e V105minutos.

5.8.1 Considerações finais dos resultados da análise sensorial

Em geral, os resultados da análise sensorial corroboram com os resultados obtidos na análise instrumental dos pães. A pequena diferença de textura entre o pão padrão e o pão da V105 minutos não foi percebida significativamente pelos provadores, enquanto a diferença mais acentuada entre o pão V70 minutos e o pão padrão foi percebida.

Já, na análise da intenção de compra, é importante ressaltar que apesar da diferença na textura, evidenciada nas análises instrumentais e agora na análise sensorial, não houve diferença (a 5% de significância) na resposta deste item, o que, economicamente falando, seria uma vantagem ainda maior para a indústria de panificação, com redução de 1/3 do tempo de fermentação dos pães. Contudo, não há dúvidas pelas respostas instrumentais e sensoriais obtidas sobre a superioridade do pão de forma V105 minutos frente ao V70 minutos.

5.9 Análise simples de custo e viabilidade econômica

Os resultados desse projeto mostraram ser possível a utilização de uma formulação de pão de forma com 71,28% de substituição de farinha de trigo por farinha de tritcale, utilizando 0,8% da enzima MTGase (base seca farinha).

A farinha de tritcale ainda não está disponível no mercado brasileiro. Portanto, para a análise dos custos da substituição da farinha de trigo serão utilizados os dados coletados de preço das sacas de grãos de trigo e tritcale, o preço da farinha de trigo no mercado brasileiro e o rendimento médio de moagem dos dois grãos, com auxílio da Equação 5.18.

$$\text{Preço.farinha.tritcale} = \frac{\text{Preço.saca.tritcale} \times \text{Preço.farinha.trigo}}{\text{Preço.saca.trigo} \times \text{diferença.de.rendimento}} \quad (\text{Eq. 5.21})$$

Segundo MFRural (2009), especializado na comercialização de *commodities* agrícolas pela internet, o valor da saca de 50kg de farinha de trigo especial, com especificação para panificação, é de R\$ 65,00 (R\$ 1,30/kg). Já, segundo os boletins da Embrapa (EMBRAPA, 2009), sobre a safra de tritcale e trigo de 2009, o valor médio de venda dos grãos foi de R\$ 15,73 para saca de 60 kg de tritcale e de R\$ 25,00 para saca de 60 kg de trigo de boa qualidade. Utilizando-se essa comparação, o valor da saca de 50 kg de farinha de tritcale, considerando uma perda de 10% na moagem dos grãos, seria de R\$ 45,44. Sendo assim, o preço por kg para farinha de tritcale seria de R\$ 0,91.

O custo da enzima STG-M fornecida pela Ajinomoto do Brasil é de U\$ 29,30 por kg. Tomando como base o valor da moeda americana em 16 de dezembro de 2009 (dólar comercial = R\$ 1,75) temos o valor de R\$ 51,27/kg de enzima.

Para adicionar 0,8% de MTGase a cada kg de farinha de tritcale, seriam necessários R\$ 0,41. Sendo assim, o custo do principal ingrediente na produção de pães de forma ficaria em R\$ 1,32 / kg.

Verifica-se, portanto, que o custo de produção de pães de forma, nas condições econômicas apresentadas na primeira quinzena de dezembro de 2009, com 71,28% farinha de tritcale e 0,8% de enzima MTGase (base seca de farinha) na formulação, seria praticamente o mesmo dos pães de forma produzidos apenas com farinha de trigo.

Sendo assim, a produção de pães de forma nas condições propostas nesse projeto é viável economicamente, sem, entretanto, apresentar vantagem econômica imediata aos fabricantes de pão de forma. Contudo, exclui a exclusividade do trigo, podendo tornar-se uma ferramenta para novas formulações e tornando-se uma excelente alternativa em momentos de crise no mercado de trigo.

Para a agroindústria nacional, a possibilidade do aumento no consumo de tritcale, pela comercialização de sua farinha para utilização em um produto consumido em larga escala, como o pão de forma, pode, se realizado de maneira planejada, incentivar o desenvolvimento de novas áreas produtoras. Além disso, pode ajudar a reduzir a dependência do trigo importado, desde que não venha a substituir o trigo nas áreas onde ele já é cultivado.

6 CONCLUSÃO

- A enzima MTGase, em concentrações até 0,8% (base seca de farinha), não altera significativamente os parâmetros: absorção de água, tempo de chegada, tempo de saída e estabilidade, das misturas de farinha de trigo e tritcale. Apenas o índice de tolerância à mistura apresentou efeito significativo da enzima. Já, os parâmetros extensográficos são influenciados pela ação da enzima, principalmente, com o avanço do tempo de descanso da massa. Para a resistência e a resistência máxima, a enzima atua mantendo os parâmetros em valores próximos aos encontrados para farinha de trigo pura até valores próximos à 85% de substituição. A extensibilidade é fortemente reduzida com a adição da enzima.
- Na produção dos pães de forma, a enzima MTGase manteve as características do pão até valores de substituição de farinha de trigo por tritcale próximos a 70%, nas respostas *volume específico* e *firmeza*. Para a resposta umidade dos pães, a enzima apresenta papel negativo, entretanto, sem comprometer a qualidade do pão, com valores dentro da faixa aceitável para o produto. A utilização de farinha de tritcale e enzima MTGase na formulação influenciam de maneira indireta nos parâmetros de cor (L^* , C^* e h) dos pães produzidos. A ação das duas variáveis no volume específico dos pães é que parece alterar os parâmetros de cor, seguindo os coeficientes de Pearson calculados para essas variáveis.
- O acompanhamento do tempo de fermentação dos pães mostrou que não é possível produzir um pão com características igual ao pão padrão em tempos muito menores do que 105 minutos de fermentação com a utilização da farinha de tritcale. Os dois principais parâmetros do pão de forma, volume específico e firmeza, são diretamente afetados pela redução desse tempo. O tempo de fermentação influenciou positivamente as respostas de volume específico e firmeza. Contudo, não apresentou influência nos valores de umidade e atividade de água.
- A análise sensorial mostrou que os pães de forma produzidos apresentam boa aceitabilidade entre os consumidores. Os valores atribuídos para a aceitação atingiram níveis iguais ao pão padrão nos quesitos: produto de modo global, aparência, aroma, sabor e intenção de compra.

- O custo para produção do pão de forma com substituição da farinha de trigo por farinha de triticales, aditivada com MTGase, mostrou-se praticamente igual ao do pão com 100% de farinha de trigo, nas condições econômicas apresentadas na primeira quinzena de dezembro de 2009.
- A enzima transglutaminase microbiana mostrou-se um adjunto de tecnologia eficaz para corrigir alterações em pães de forma causadas pela substituição da farinha de trigo por farinha de triticales. A substituição de até 71,28% da farinha de trigo por farinha de triticales é possível adicionando-se 0,8% da enzima (base seca de farinha) na formulação dos pães de forma. Em comparação ao pão de forma padrão, com 100% de farinha de trigo, o produto desenvolvido apresentou parâmetros muito semelhantes: volume específico 3% menor; firmeza 34 g maior; umidade 0,3% menor; atividade de água 0,2% menor; L* 0,2% menor; C* -2,4% menor e h 0,1% maior. O produto desenvolvido atende às qualidades tecnológicas e sensoriais exigidas pelos consumidores de pão de forma.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar o efeito da quantidade de DATEM

Apesar do pão de forma desenvolvido não ter apresentado diferença significativa para a aceitação da textura durante a análise sensorial, a análise instrumental desse atributo foi ligeiramente inferior ao pão padrão. Um novo estudo com a variação da quantidade de DATEM poderia fornecer melhores resultados para esse parâmetro e, quem sabe, igualá-lo ao pão de forma padrão.

- Estudar o efeito do tempo de mistura das massas

A farinha de tritcale mostrou-se menos susceptível à mistura mecânica do que a farinha de trigo. Com a utilização de batedeiras modernas, seria possível realizar um novo estudo alterando o tempo de mistura da massa, adequando assim o processo às características específicas da farinha de tritcale. Esse processo poderia aumentar ainda mais os níveis de substituição da farinha de trigo nos pães de forma.

- Avaliar de outros cultivares de tritcale

Nesta pesquisa, o cultivar de tritcale IAC 5 – Canindé foi escolhido como objeto de estudo por representar o Estado de São Paulo. Entretanto, além deste existem inúmeros cultivares de tritcale disponíveis comercialmente no Brasil. Seria interessante verificar qual o resultado apresentado, em um estudo semelhante, utilizando outros cultivares de tritcale.

- Quantificação do custo de moagem comercial do Triticale

Por não haver disponibilidade de farinha de tritcale no mercado brasileiro, o estudo de custos realizado neste projeto foi bastante simplificado. Existe a possibilidade das extrações, em nível comercial, serem melhores do que as apresentadas nos projetos de pesquisa laboratorial. Um aumento no rendimento de extração pode significar uma vantagem financeira significativa na utilização desse insumo.

- Busca de novas fontes de MTGase

Estudos como os realizados por Macedo *et. al.* (2007), vem contribuindo significativamente na busca de novas fontes de enzima MTGase. Esses estudos podem ajudar a reduzir o custo do aditivo no mercado, tornando mais vantajosa a correção da farinha de tritcale com a enzima.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the AACC**. 10th ed. St. Paul, 2000.

AALMI, M.; LEELAVATHI, K. Effect of Microbial Transglutaminase on Spaghetti Quality. **Journal of Food Science**. v.73(5), p.306-312, 2008.

ABIMA. **Associação Brasileira da Indústria de Massas Alimentícias**. Mercado nacional de pães e bolos. Disponível em: http://www.abima.com.br/est_mp_nacional.asp#consumo . Acesso em: dez. 2009a.

ABIMA. **Associação Brasileira da Indústria de Massas Alimentícias**. Mercado de Trigo. Disponível em: http://www.abima.com.br/est_mtrigo.asp. Acesso em: dez. 2009b

ABIP. **Associação Brasileira da Indústria de Panificação**. Performance do setor de panificação brasileiro em 2008. Disponível em: <http://www.abip.org.br/pdf/performancepanificacao2008.pdf> . Acesso em: dez. 2009.

ALP, H.; BILGIÇLI, N.; Effect of transglutaminase on some properties of cake enriched with various protein sources. **Journal of Food Science**. v.73 (5), p.209-214, 2008.

AMMAR, K.; MERGOUM, M.; RAJARAM, S. The history and evolution of triticale. **Triticale: improvement and production**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p1-9, 2004.

ANDO, H.; ADACHI, M.; UMEDA, K.; MATSUURA, A.; NONAKA, M.; UCHIO, R.; TANAKA, H.; MOTOKI, M.; Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganism. **Agricultural and Biological Chemistry**, v.53, p.2613-2617, 1989.

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Instrução Normativa nº 8, de 02/06/2005. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: dez. 2009.

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. RDC nº 28, de 28/03/2000. Dispõe sobre os procedimentos básicos de Boas Práticas de Fabricação em estabelecimentos beneficiadores de sal destinado ao consumo humano e o roteiro de inspeção sanitária em indústrias beneficiadoras de sal. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: out. 2009.

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. RDC nº 263, de 22/09/2005. Aprova o Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: out. 2009.

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. RDC nº 348, de 02/12/2003. Aprova de forma complementar ao Anexo da Resolução CNNPA nº 24 de 1976, a utilização de enzimas na indústria de alimentos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: out. 2009.

BASMAN, A.; KOKSEL, H.; ATLI, A. Effects of increasing levels of transglutaminase on cooking quality of bran supplemented spaghetti. **European Food Research and Technology**. v.223, p.547-551, 2006.

BASMAN, A.; KOKSEL, H.; NG, P.K.W. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours. **European Food Research and Technology**. v.215, p.419-424, 2002.

CABALLERO, P.A.; BONET, A.; ROSELL, C.M.; GÓMEZ, M. Effect of microbial transglutaminase on the rheological and thermal properties of insect damaged wheat flour. **Journal of Cereal Science**. v.42, p.93-100, 2005.

CAUVAIN, S.P. The relevance of testing to the manufacture of bread and fermented products. **The ICC handbook of cereals, flour, dough & product testing**. DEStech Publications, Inc. Lancaster, Pennsylvania, p.138, 2009.

COLLAR, C.; BOLLAÍN, C.; ANGIOLONI, A. Significance of microbial transglutaminase on the sensory, mechanical and crumb grain pattern of enzyme supplemented fresh pan breads. **Journal of Food Engineering**. v.70, p.479-488, 2005.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra brasileira de Grãos, safra 2008/2009. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/> . Acesso em: dez. 2009.

DE JONG, G.A.H; KOPPELMAN, S.J. Transglutaminase Catalyzed Reactions impact on food applications. **Journal of Food Science**, v.67 (8), p.2798-2906, 2002.

DOXASTAKIS, G.; ZAFIRIADIS, I.; IRAKLI, M.; MARLANI, H.; TANANAKI, C.; Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. **Food Chemistry**, v.77, p.219-227, 2002.

EL DASH, A.A; CAMARGO, C.O.; DIAZ, N. **Fundamentos da Tecnologia de Panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 80p - 84p.

ESTELLER, M. S. **Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento.** 2004. Dissertação (Mestre em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FARREL, E.P.; TSEN, C.C.; HOOVER, W.J.; Milling triticale into flour In: Tsen, C.C. (ed.). **Triticale; First Man-Made Cereal.** American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minnesota, p.224-233, 1974.

GERRARD J.A; FAYLE, S.E; WILSON A.J; NEWBERRY, M.P; ROSS, M; KAVALE, S. Dough Properties and Crumb Strength of White Pan Bread as Affected by Microbial Transglutaminase. **Journal of Food Science**, v.63, p.472-475, 1998.

GERRARD, J.A.; FAYLE, S.E.; BROWN, P.A.; SUTTON, K.H.; SIMMONS, L.; RASIAH, I. Effects of microbial transglutaminase on the wheat protein of bread and croissant dough. **Journal of Food Science.** v.66 (6), p.782-786, 2001.

GERRARD, J.A.; NEWBERRY, M.P.; ROSS, M.; WILSON, A.J.; FAYLE, S.E.; KAVALE, S. Pastry lift and croissant volume as affected by microbial transglutaminase. **Journal of Food Science.** v.65 (2), p.312-314, 2000.

HORWITZ, W. (Ed.). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** 18th ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2005. Current Through Revision 1, 2006. cap. 32, p.1-14.

HOZOVÁ, B.; JANČOVIČOVÁ, J.; DODOK, L.; BUCHTOVÁ,V.; STARUCH, L. Use of Transglutaminase for improvement of quality of pastry produced by frozen-dough technology. **Czech Journal of Food Science.** v.20 (6), p.215-222, 2002.

HUANG, W.N.; YUAN, Y.L.; KIM, Y.S.; CHUNG, O.K. Effects of transglutaminase on rheology, microstructure, and baking properties of frozen dough. **Cereal Chemistry**, v. 85, n.3, p. 301-306, 2008. DOI:10.1094/CCHEM-85-3-0301

IAC. **Instituto Agrônomo de Campinas**. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/GraosFibras/Cultivares/Triticale.asp> . Acesso em: dez. 2009.

JARDINE, J.G. **Avaliação do Comportamento Tecnológico de Farinha de Triticale em Mistura com farinha de trigo para a Produção de Pães**. Campinas, 1981, 81p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

JUNIOR, A.N.; Oferta de milho no mercado brasileiro reduz safra de triticale. Embrapa. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/obs_trigo/inf_tecnicas/Oferta%20de%20milho%20no%20mercado%20interno%20reduz%20safra%20de%20triticale.pdf . Acesso em: dez. 2009.

JUNIOR, A.N.; BAIER, A.C.; TEIXEIRA, M.C.C.; WIETHÖLTER, S. Triticale in Brazil, **Triticale: improvement and production**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p93-98, 2004.

KANAJI, T.; OZAKI, H.; TAKAO, T.; KAWAJIRI, H.; IDE, H.; MOTOKI, M.; SHIMONISHI, Y. Primary structure of microbial transglutaminase from *Streptovercillium* sp. Strain s-8112. **Journal of Biological Chemistry**., v. 268, p.11565-11572, 1993

KIM, Y. S.; HUANG, W.; DU, G.; PAN, Z.; CHUNG, O. Effects of trehalose, transglutaminase, and gum on rheological, fermentation, and baking properties of frozen dough. **Food Research International**. v.41, n.9, p.903-908, 2008. doi: 10.1016/j.foodres.2008.07.013.

KOH, B.K.; NG, P.K.W. Effects of ferulic acid and transglutaminase on hard wheat flour dough and bread. **Cereal Chemistry**, v. 86, n.1, p. 18-22, 2009 DOI:10.1094/CCHEM-86-1-0018

LEITÃO, R.F.F.; VITTI, P.; PIZZINATO, A.; CAMPOS, S.D.S.; MORI, E.E.M.; SHIROSE, I. Farinha de Triticale em Panificação. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, 10: 45-58, Campinas, 1979.

MACEDO, J. A. ; SATO, H H . Propriedades e aplicações da transglutaminase microbiana em alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v.16, p. 413-419, 2006.

MACEDO, J. A., SETTE, L. D., SATO, H. H. A comparative biochemical characterization of microbial transglutaminases: commercial vs. a newly isolated enzyme from *Streptomyces* sp. **Food Bioprocess Technol.** In pres, 2009. DOI: 10.1007/s11947-009-0209-8

MACEDO, J. A., SETTE, L. D., SATO, H. H. Optimization of medium composition for Transglutaminase production by a Brazilian soil *Streptomyces* sp. **Electronic Journal of Biotechnology [on line]**. 15 October 2007, vol. 10. no.4 [cited 09 december 2009] Disponível em: <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol10/issue4/full/10/> . ISSN: 0717-3458.

MEDINA-RODRÍGUEZ, C. L.; TORRES, P.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; RAMIREZ-WONG, B.; PAREDES-LÓPEZ, O.; CASTAÑO-TOSTADO, E. Effect of microbial transglutaminase on dough proteins of hard and soft (*Triticum aestivium*) and durum (*Triticum durum*) wheat cultivars. **Cereal Chemistry**. v. 86, p. 127-132, 2009.

MFRURAL. Farinha de trigo especial. Disponível em: <http://comprar-vender.mfrural.com.br/detalhe.aspx?cdp=34700&nmoca=trigo-farinha-de-trigo-especial>- Acesso em: dez. 2009

MINOLTA CO. LTD. The essentials of imaging, **Manual Guide**, p 18-21, Japan, 2006.

MONTENEGRO, F.; ORMENESE, R.C.S.C. **Avaliação da Qualidade Tecnológica da Farinha de Trigo**. Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2006.

MOORE, M.M.; HEINBOCKEL, M.; ULMER, H.M.; ARENT, E.K. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. **Cereal Chemistry**, v. 83, n.1, p. 28-36, 2006. DOI: 10.1094/CC-83-0028

NAEEM, H.A., DARVEY, N.L.; GRAS, P.W.; MACRITCHIE, F. Mixing Properties, Baking Potencial and Functionality Changes in Storage Proteins During Dough Development of Triticale-Wheat Flour Blends. **Cereal Chemistry**. 79(3): 332-339, 2002.

NONAKA, M.; TANAKA, H.; OKIYAMA, A.; MOTOKI, M.; ANDO, H.; UMEDA K.; MATSUURA, A.; Polymerization of several proteins by Ca^{2+} independent transglutaminase derived from microorganisms. **Agricultural and Biological Chemistry**, v.53, p.2619-2623, 1989.

PEÑA, R. J. Food uses of triticale. **Triticale: improvement and production**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p37-48, 2004.

PEÑA, R.J.; AMAYA, A. Milling and breadmaking properties of wheat – triticale grain blends. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.60, n.4, p.483-487, 1992.

PICCOLO, K. C. **Avaliação do efeito da enzima transglutaminase no processo de produção de requeijão cremoso**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Biológicos) – Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, São Paulo. 2006.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Campinas: Casa do Pão, 326p. 2005.

SAKAMOTO, H.; HUMAZAWA, Y; MOTOKI, M. Strength of proteins gels prepared with microbial transglutaminase as related to reaction conditions. **Journal of Food Science**, v. 59, p. 866-871, 2006.

SERNA-SALDIVAR, S. O.; GUARJARDO-FLORES, S.; VIESCA-RIOS, R. Potential of triticale as a substitute for wheat in flour tortilla production. **Cereal Chemistry**, v. 82, n.2, p. 220-225, 2004.

SILVA, C.B.; **Efeito da adição de xilanase, glucose oxidase e ácido ascórbico na qualidade do pão de forma de farinha de trigo de grão inteiro**, 2006. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SLUIMER, P. **Principles of Breadmaking – functionality of raw materials and process steps**. AACC, St. Paul, Minnessota, p.28-63. 2005.

TOHVER, M.; KANN, A.; TÄHT, R.; MIHHALEVSKI, A.; HAKMAN, J. Quality of Triticale Cultivars Suitable for Growing and Bread-Making in Northern Conditions. **Food Chemistry**, v.89, p.125-132, 2005.

TSEN, C.C., HOOVER, W.J.; FARREL, E.P. Baking Quality of Triticale Flour. **Cereal Chemistry**, v.50, p.16-26, 1973.

UNRAU, A. M.; JENKINS, B. C. Investigations on synthetic cereal species. Milling, baking, and some compositional characteristics of some “triticale” and paternal species. **Cereal Chemistry**, v.41, p.365-275, 1964

UOL ECONOMIA. **Histórico de cotações do dólar comercial**. Disponível em: <http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos-historico.jhtm>

Acesso em: dez.2009.

WRIGLEY, C.W. Wheat: A unique grain for the world. **Wheat – Chemistry and Technology**, AACC International. 4th Edition. St. Paul, Minnesota, p.1-17, 2009.

VARUGHESE, G.; PFEIFFER, W.H.; PEÑA, J.; Triticale: A successful alternative crop (part 1) **Cereal Foods World**, v.41: 474-482, 2006.

Anexo I

Laudo da Enzima Transglutaminase Microbiana

AJINOMOTO

Ajinomoto Co., Inc.
15-1, Kyobashi 1-Chome, Chuo-ku,
Tokyo 104-8315 Japan

TEL : 03-5250-8146
FAX : 03-5250-8287

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product : ACTIVA STG-M
Packing Size : 50g
Lot No. : 09.11.14
Produced on : May. 14, 2008
Best before : Nov. 14, 2009

Item	Result
Sensory test	passed test
Loss on drying	1.3%
TGase activity	31U/g
Arsenic (As ₂ O ₃)	not more than 2 μ g/g
Heavy metals	not more than 20 μ g/g
Total viable counts	20/g
Heat-resist. Bacteria	0/g
Coliform bacteria	negative

This is to certify that the information listed above is a true and accurate copy of the data obtained for the material identified.

Date of issue: August 14, 2008
Ajinomoto Co., Inc.



Toshiya Kano
Product Manager
Food Ingredients Department

Anexo II

Questionário da análise sensorial

Quadro 1. Questionário utilizado para análise sensorial.

Ordem	Pergunta	Opções
1	Quais os tipos de pão de forma que você costuma consumir?	branco/integral
2	Qual a frequência que você costuma consumir pão de forma?	gostei muitíssimo; gostei muito; gostei; gostei pouco; não gostei nem desgostei; desgostei um pouco; desgostei; desgostei muito; desgostei muitíssimo.
3	Por favor, indique o quanto você gostou da amostra de um modo global:	
4	Por favor, indique o quanto você gostou da amostra em relação a aparência:	
5	Por favor, indique o quanto você gostou da amostra em relação ao aroma:	
6	Por favor, indique o quanto você gostou da amostra em relação ao sabor:	
7	Por favor, indique o quanto você gostou da amostra em relação a maciez:	
8	Por favor, descreva o que você mais gostou na amostra:	-
9	Por favor, descreva o que você menos gostou na amostra:	-
10	Pensando nos produtos que você consome normalmente, por favor, indique qual seria sua atitude em relação a compra do produto que você acabou de provar:	certamente compraria; provavelmente compraria; talvez comprasse talvez não comprasse; provavelmente não compraria; certamente não compraria.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Projeto de Pesquisa: **Efeito do uso da enzima transglutaminase microbiana na qualidade do pão de forma com diferentes quantidades de farinha de triticale.**

Responsável pela pesquisa: Marco Antonio Lefevre Gragnani

O triticale é um cereal resultante do cruzamento do trigo com o centeio. Esse grão, trás características interessantes de cultivo, que tornam possível seu plantio em locais onde o trigo não cresce. Sua desvantagem é a pouca quantidade de glúten em sua composição. E é justamente o glúten, o responsável pela formação das características desejadas em um pão de forma. A transglutaminase microbiana é uma enzima, capaz de juntar proteínas. Quando em presença de proteínas e glúten, ela torna o glúten mais forte, melhorando a qualidade final dos produtos. Esse trabalho tem como objetivo avaliar o resultado de assamento de pães de forma que utilizem triticale em sua formulação, com uso da enzima transglutaminase.

Para avaliação final do produto, é necessário que pessoas que consomem pão de forma provem esse pão de forma, e avaliem então o que acharam dele.

Para isso serão entregue 3 amostras de pães de forma, onde você será convidado a provar as 3 amostras e avaliá-las quando a aparência, cor, aroma, textura e sabor, usando a escala presente na ficha.

Não há riscos previsíveis da ingestão dessas amostras. Tanto o triticale, como a enzima transglutaminase microbiana são regulamentados pela ANVISA (Agência de vigilância sanitária) e já estão presentes em muitos produtos consumidos no Brasil.

Não podem participar da pesquisa, pessoas que não possam comer glúten, ou seja celíacas. Caso você consuma pão, feito com farinha de trigo, normalmente, não há risco previsível em provar as amostras deste teste.

Caso tenha alguma dúvida antes, durante, ou após a realização deste teste, estarei inteiramente à disposição para esclarecimentos. Além disso, caso desista da participação neste teste, poderá sair a qualquer momento, sem nenhum tipo de problema.

Todos os dados informados nessa pesquisa serão mantidos em sigilo.

Não vai haver nenhuma forma de reembolso de dinheiro, já que com a participação na pesquisa você não vai ter nenhum gasto

PARECER DO CEP: 292/2009

Membros da Equipe:

Marco Antonio Lefevre Gragnani - marcoalq@fea.unicamp.br, fone: (11) 9379-7810
Fernanda Paula Collares Queiroz – fercolla@fea.unicamp.br, fone: (19) 3521-3997

Comitê de Ética em Pesquisa da Unicamp

Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126 - Caixa Postal 6111 13083-887 Campinas – SP

Fone: (19) 3521-8936 Fax (19) 3521-7187 e-mail: cep@fcm.unicamp.br

Declaro aceitar participar da pesquisa de acordo com as condições estabelecidas pela mesma.

Nome: _____ RG: _____

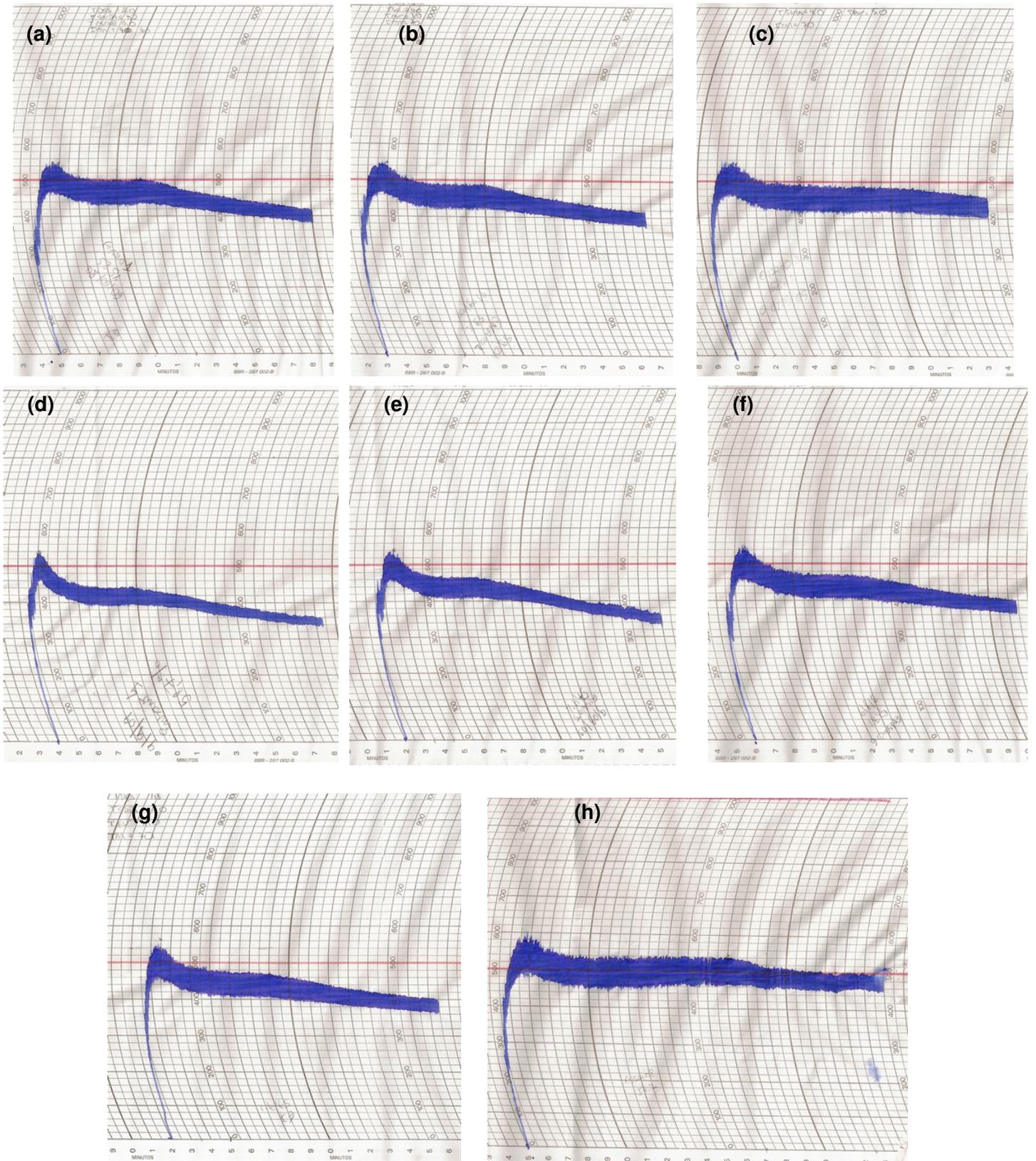
Data: _____ Local: ITAL - CAMPINAS

Assinatura: _____

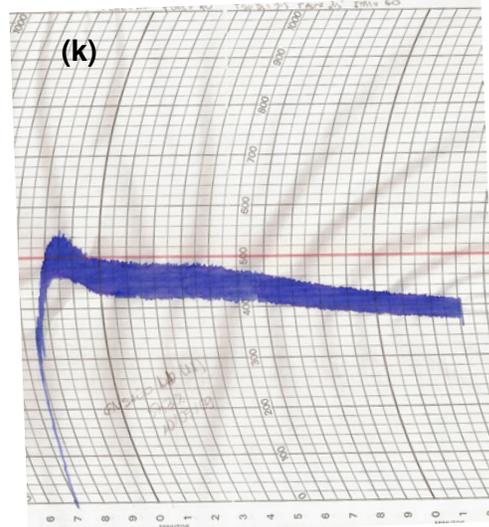
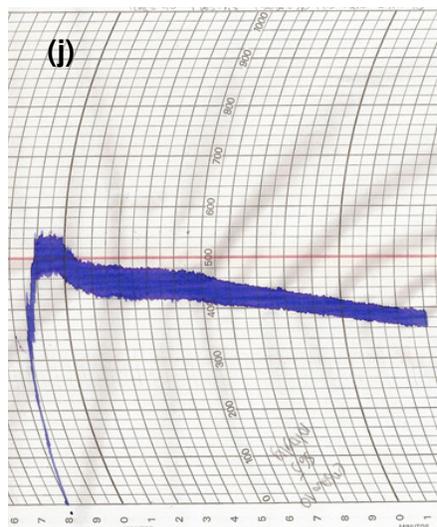
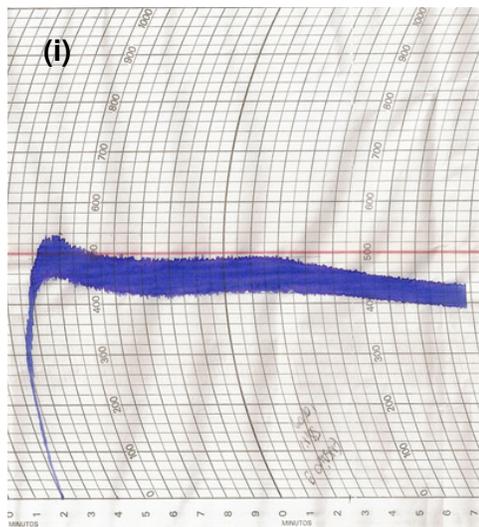
Anexo III

Farinogramas

Anexo III: Farinogramas dos ensaios 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d), 5 (e), 6 (f), 7 (g) e 8 (h).



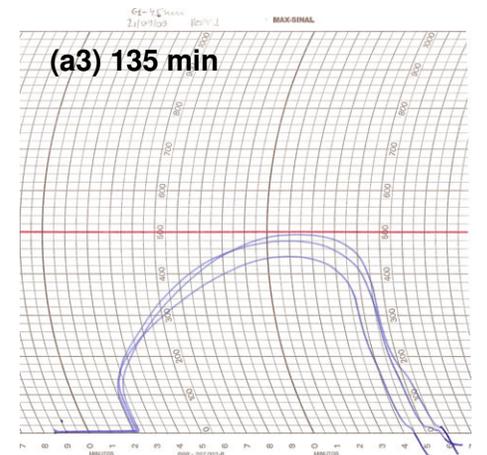
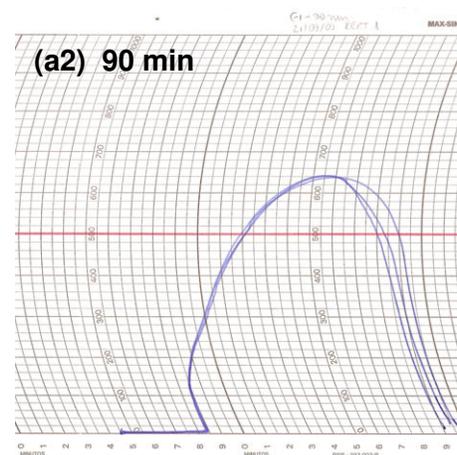
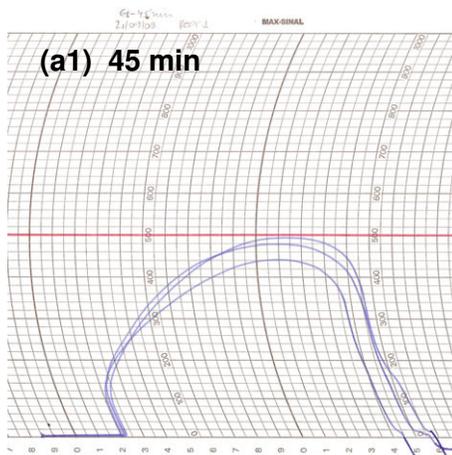
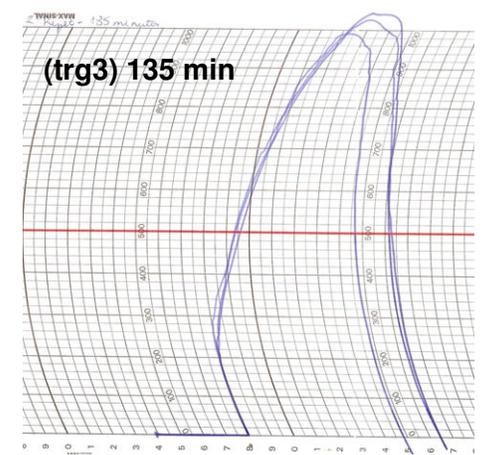
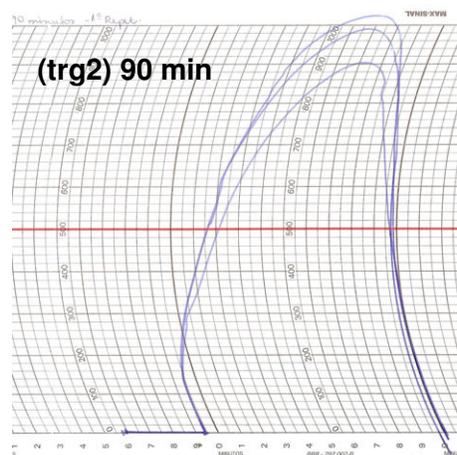
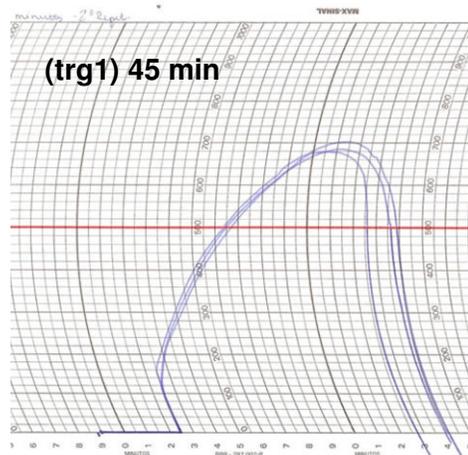
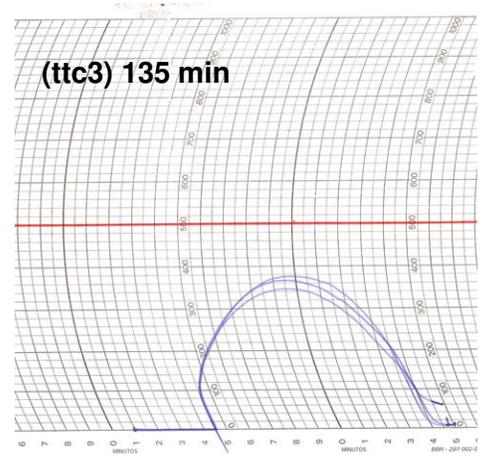
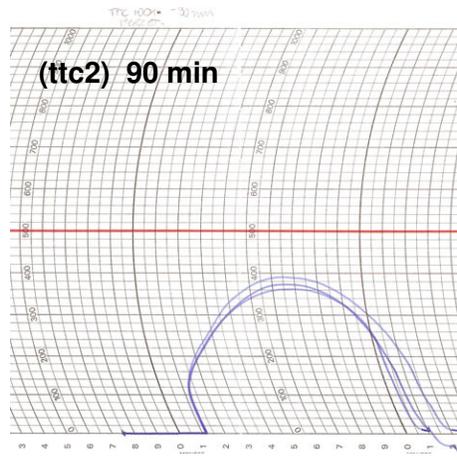
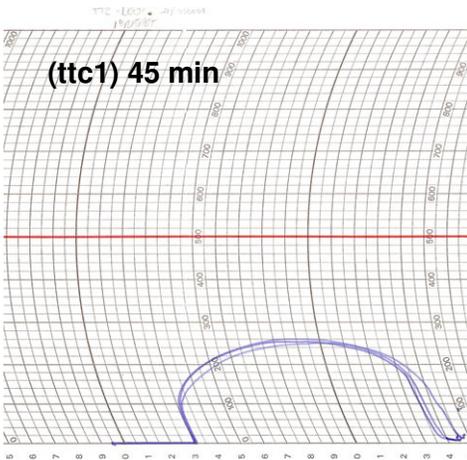
Anexo III: Farinogramas dos ensaios 9 (i), 10 (j), 11 (k),



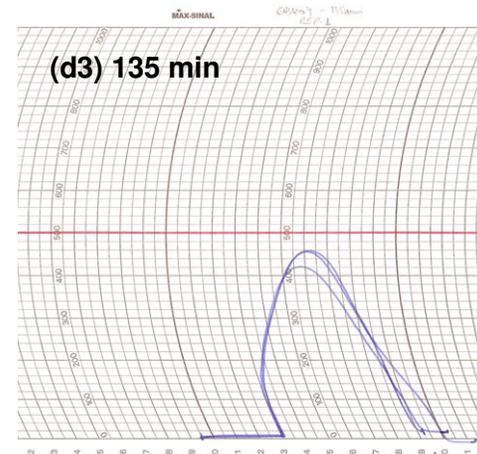
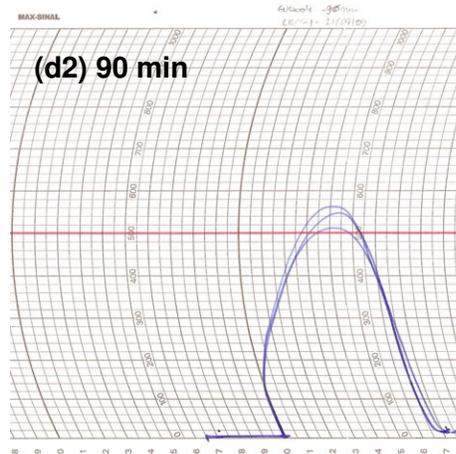
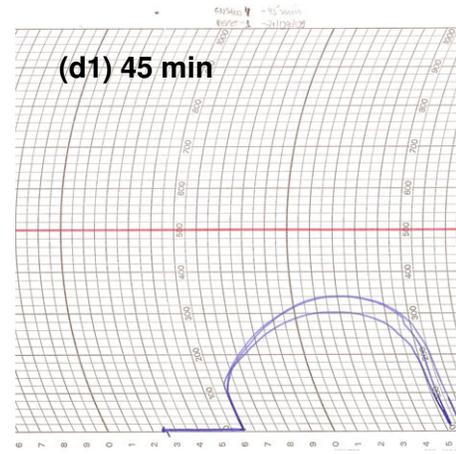
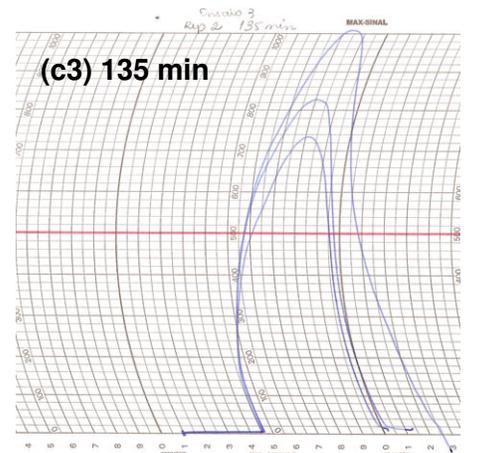
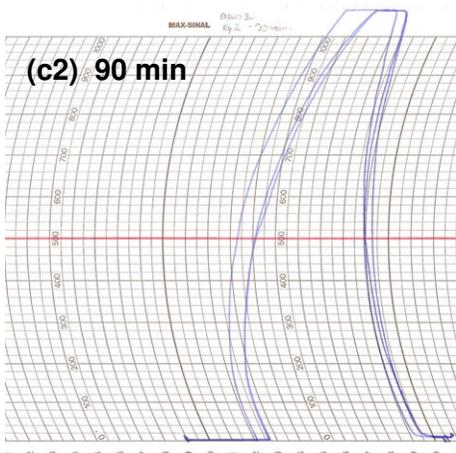
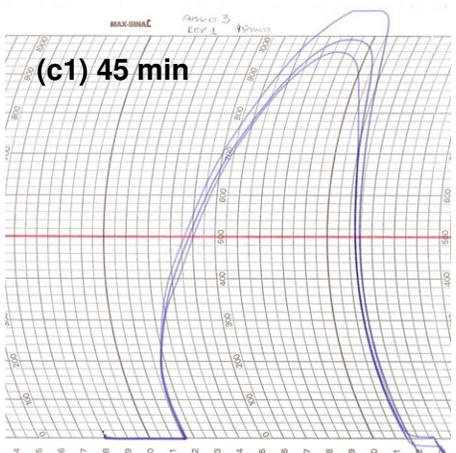
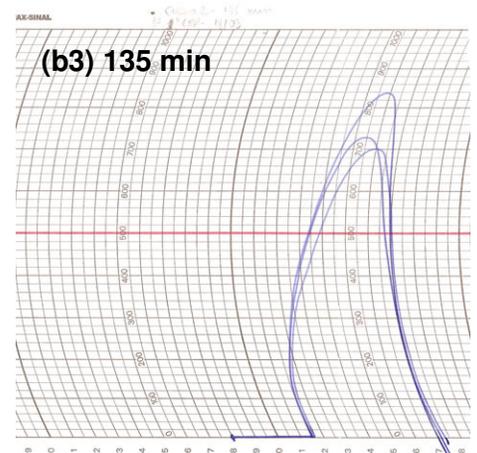
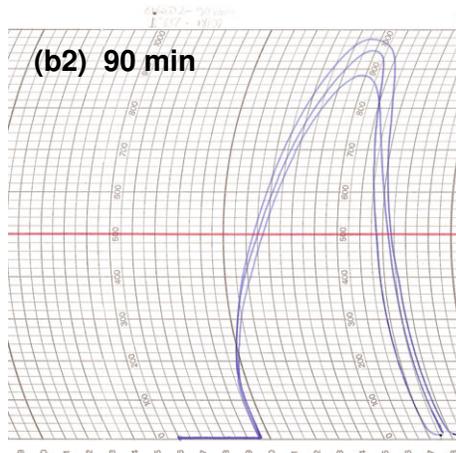
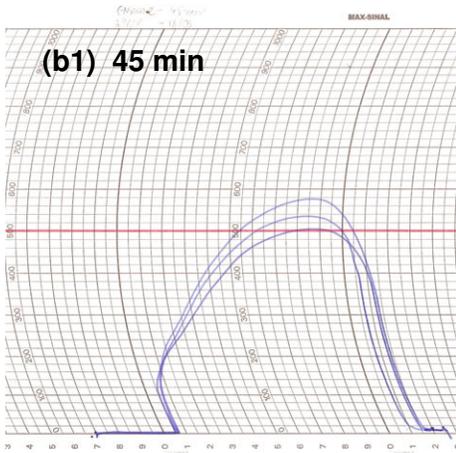
Anexo IV

Extensogramas

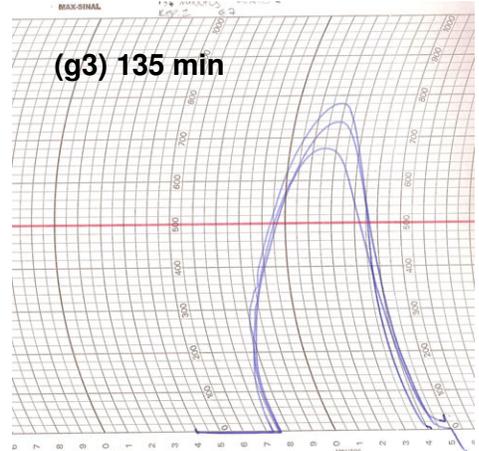
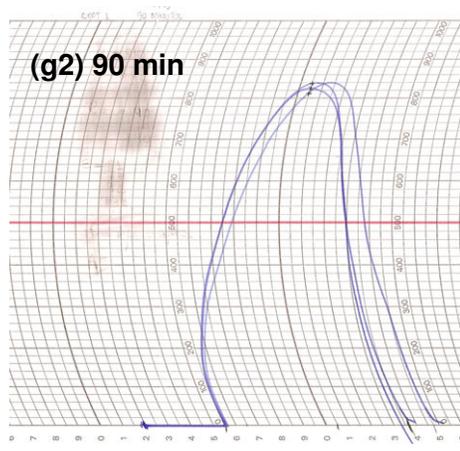
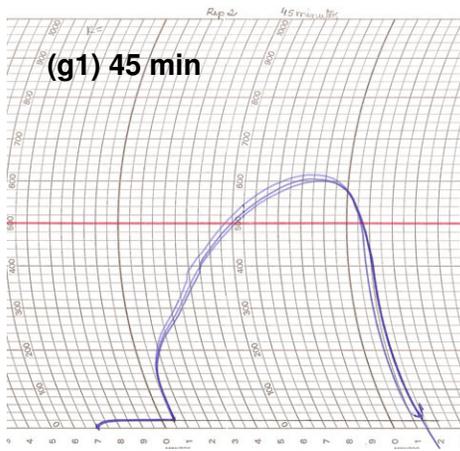
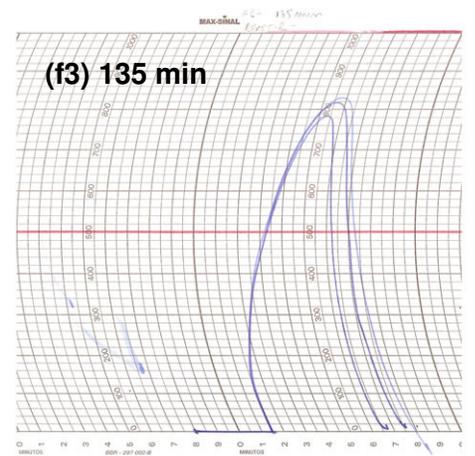
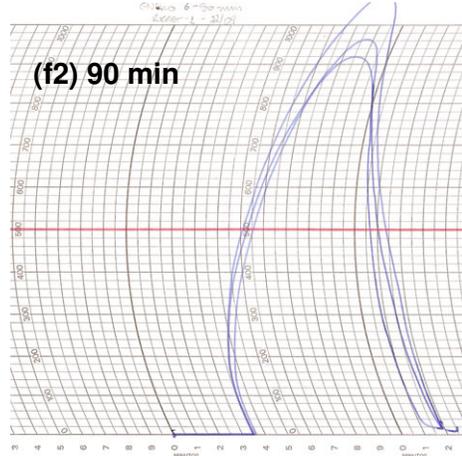
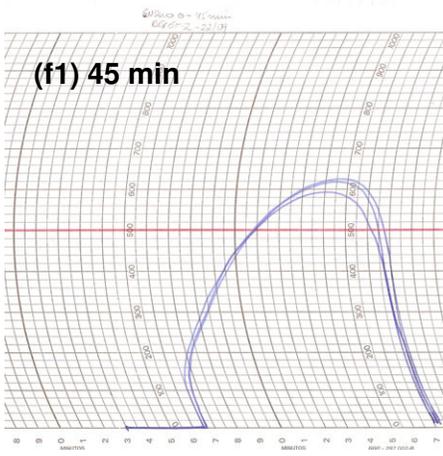
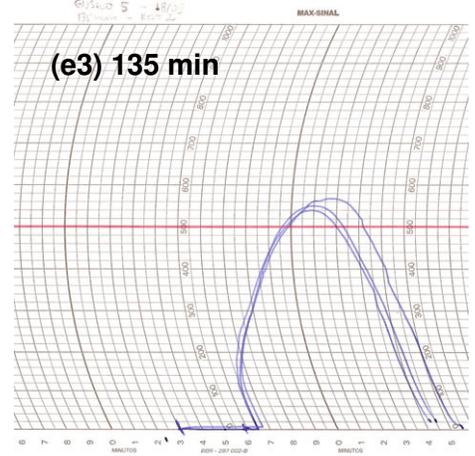
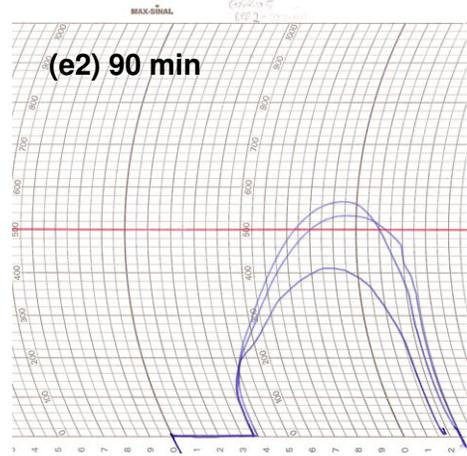
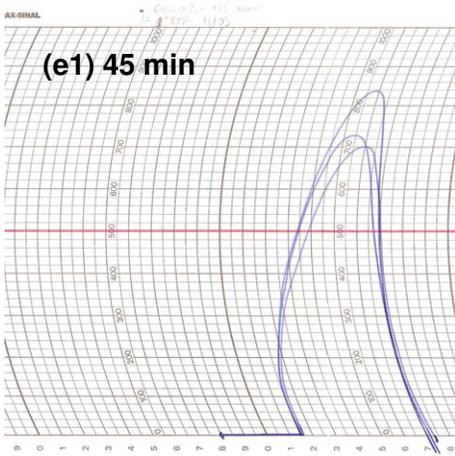
Anexo IV: Extensogramas das farinhas de tritcale (ttc1, ttc2 e ttc3), farinha de trigo (trg1, trg2 e trg3) e ensaio 1 (a1, a2 e a3).



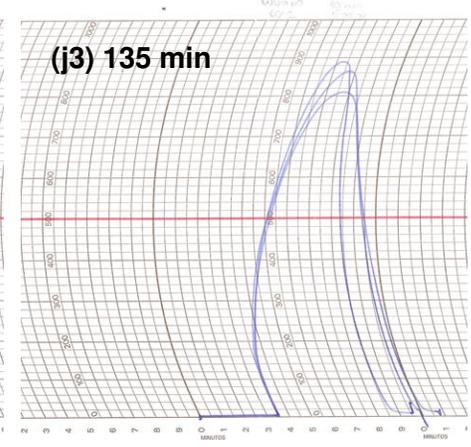
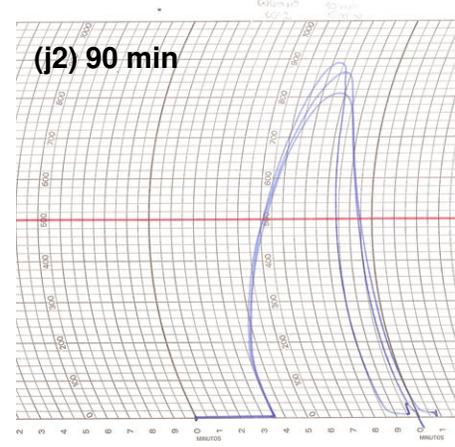
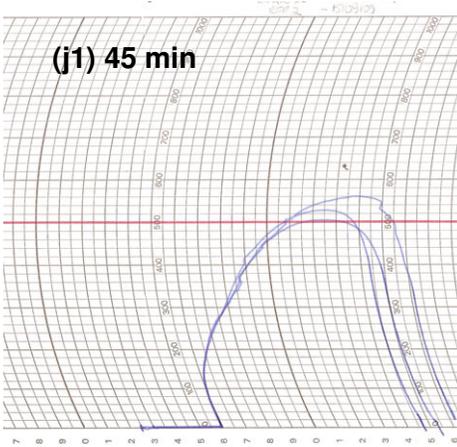
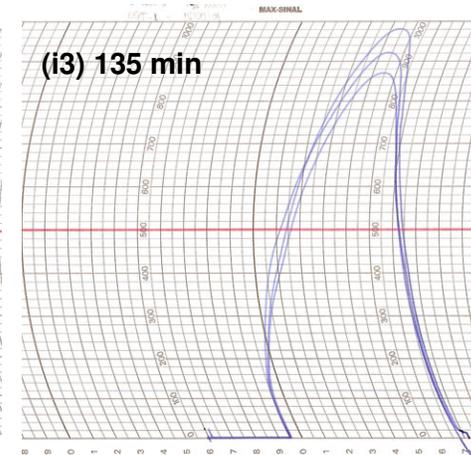
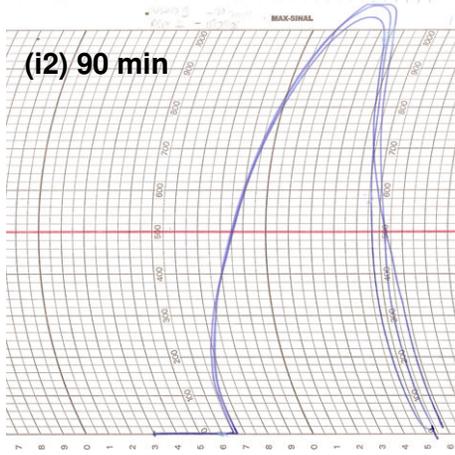
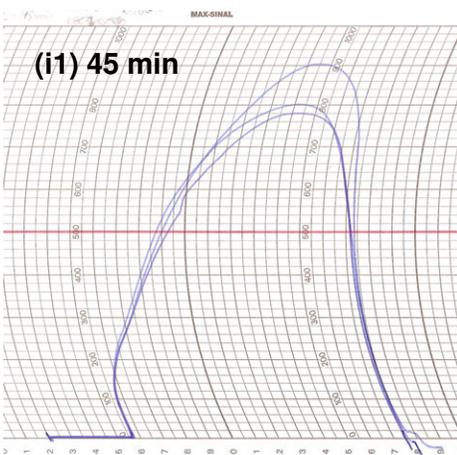
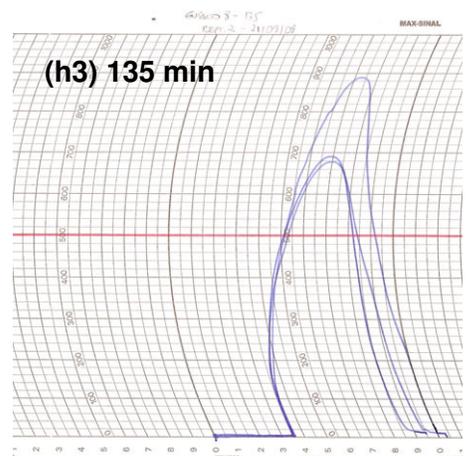
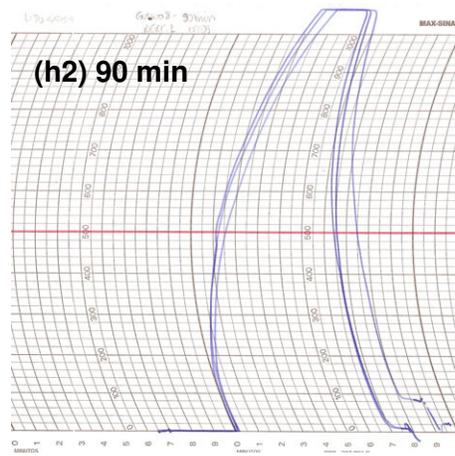
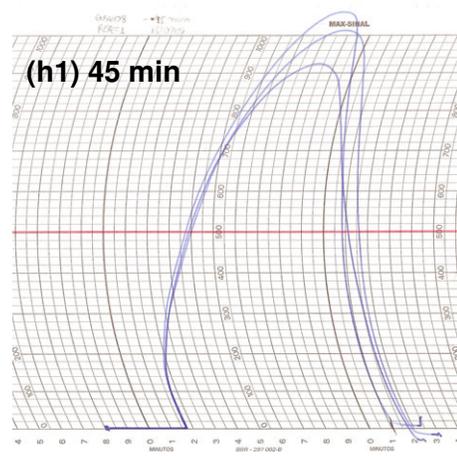
Anexo IV: Extensogramas do ensaio 2 (b1, b2 e b3), ensaio 3 (c1, c2 e c3) e ensaio 4 (d1, d2 e d3).



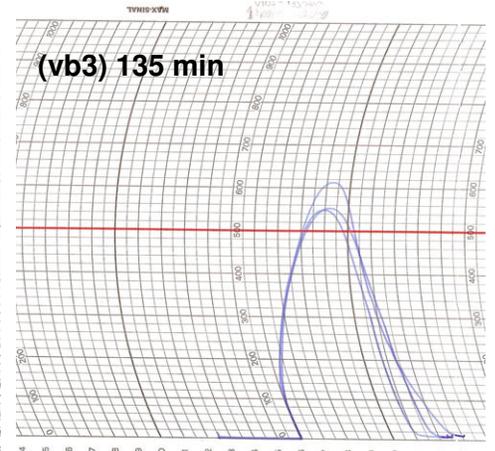
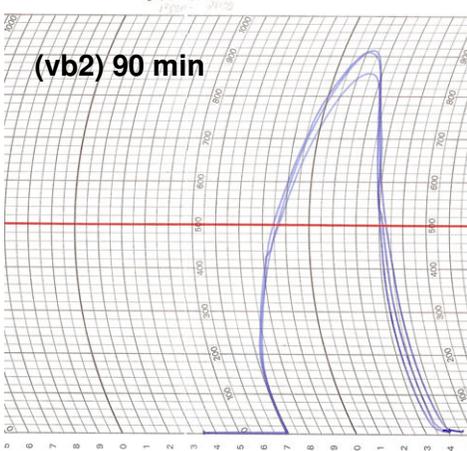
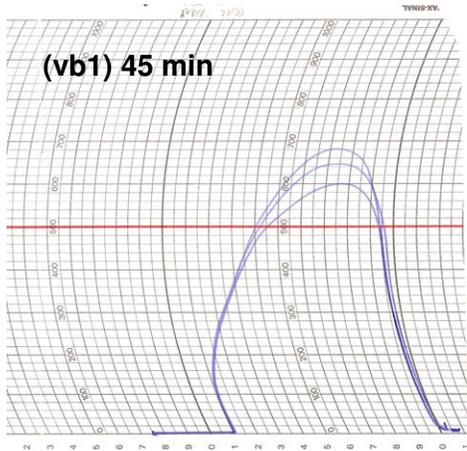
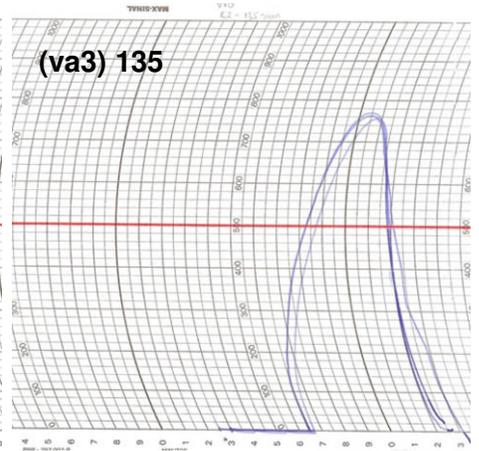
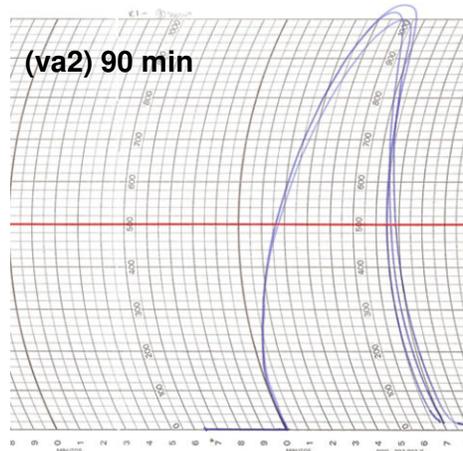
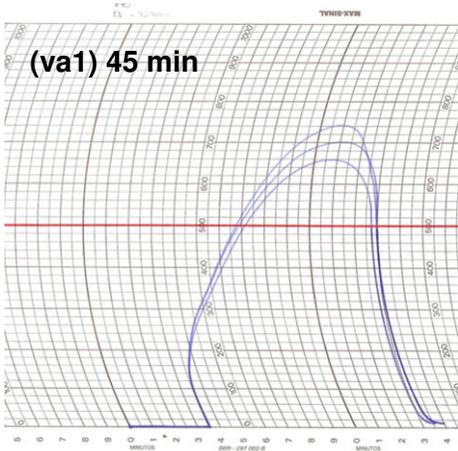
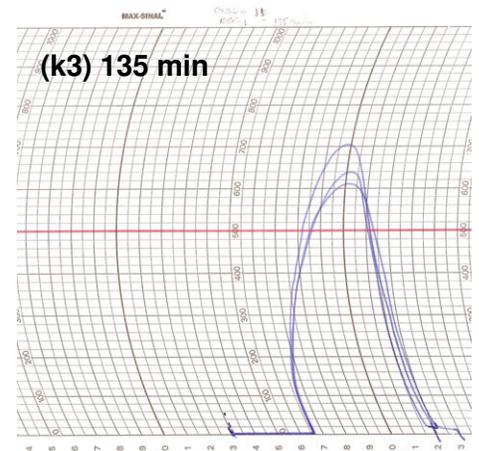
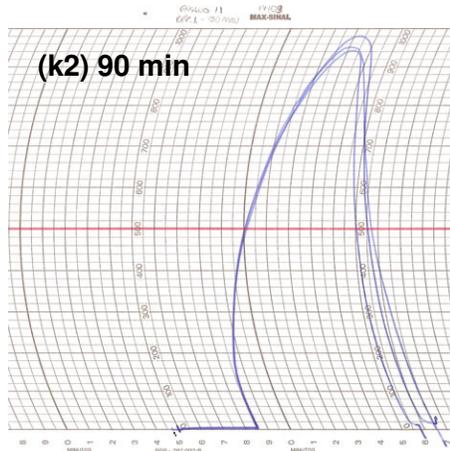
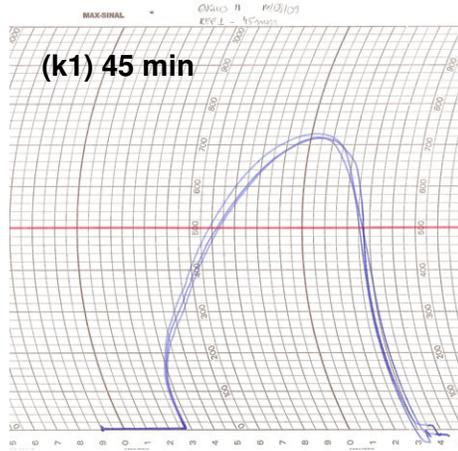
Anexo IV: Extensogramas do ensaio 5 (e1, e2 e e3), ensaio 6 (f1, f2 e f3) e ensaio 7 (g1, g2 e g3).



Anexo IV: Extensogramas do ensaio 8 (h1, h2 e h3), ensaio 9 (i1, i2 e i3) e ensaio 10 (j1, j2 e j3).



Anexo IV: Extensogramas do ensaio 11 (k1, k2 e k3), V70min (va1, va2 e va3) e ensaio V105min (vb1, vb2 e vb3).



Anexo V

Coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p.

Tabela 68. Coeficientes de regressão para resposta *absorção de água*.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	1,56421	1,48996	1,04983	0,341867
x₁ (L)	-1,88080	0,913784	-2,05826	0,094643
x₁ (Q)	1,80835	1,09038	1,65846	0,158122
x₂ (L)	-0,046597	0,913784	-0,050993	0,961305
x₂ (Q)	-0,455114	1,09038	-0,417389	0,693711
(x₁) * (x₂)	0,083333	1,29036	0,064581	0,951010
R²	19,62%			

Tabela 69. Coeficientes de regressão para resposta *tempo de chegada*.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	0,99951	0,084547	11,8219	0,000076
x₁ (L)	-0,05036	0,051852	-0,9712	0,376058
x₁ (Q)	0,07347	0,061873	1,1875	0,288359
x₂ (L)	-0,00857	0,051852	-0,1652	0,875241
x₂ (Q)	0,07347	0,061873	1,1875	0,288359
(x₁) * (x₂)	0,12500	0,073221	1,7072	0,148498
R²	54,83%			

Tabela 70. Coeficientes de regressão para resposta *resistência a 45 minutos*.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	519,084	53,5073	9,70119	0,000198
x₁ (L)	-150,815	32,8156	-4,59584	0,005862
x₁ (Q)	63,5274	39,1576	1,62235	0,165655
x₂ (L)	63,5516	32,8156	1,93662	0,110548
x₂ (Q)	-6,89161	39,1576	-0,17600	0,867202
(x₁) * (x₂)	2,50000	46,3392	0,05395	0,959064
R²	84,83%			

Tabela 71. Coeficientes de regressão para resposta *resistência a 90 minutos*.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	895,516	75,35265	11,88434	0,000074
x₁ (L)	-166,650	46,21323	-3,60611	0,015444
x₁ (Q)	-32,962	55,14441	-0,59775	0,576050
x₂ (L)	77,832	46,21323	1,68418	0,152964
x₂ (Q)	-96,675	55,14441	-1,75312	0,139958
(x₁) * (x₂)	138,750	65,25809	2,12617	0,086824
R²	82,42%			

Tabela 72. Coeficientes de regressão para resposta *resistência* a 135 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	622,636	87,16617	7,14309	0,000835
x₁ (L)	-157,512	53,45837	-2,94645	0,032017
x₁ (Q)	-68,163	63,78975	-1,06856	0,334120
x₂ (L)	-152,995	53,45837	-2,86194	0,035326
x₂ (Q)	-66,486	63,78975	-1,04227	0,345035
(x₁) * (x₂)	-37,917	75,48902	-0,50228	0,636804
R²	79,04%			

Tabela 73. Coeficientes de regressão para resposta *resistência* máxima a 45 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	594,418	68,58510	8,66686	0,000338
x₁ (L)	-188,645	42,06274	-4,48484	0,006490
x₁ (Q)	58,170	50,19179	1,15895	0,298813
x₂ (L)	61,238	42,06274	1,45588	0,205196
x₂ (Q)	-6,800	50,19179	-0,13548	0,897519
(x₁) * (x₂)	16,250	59,39714	0,27358	0,795347
R²	82,70%			

Tabela 74. Coeficientes de regressão para resposta *resistência* máxima a 90 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	900,739	54,29200	16,59064	0,000015
x₁ (L)	-159,589	33,29688	-4,79292	0,004914
x₁ (Q)	-41,748	39,73185	-1,05073	0,341490
x₂ (L)	93,361	33,29688	2,80390	0,037819
x₂ (Q)	-62,286	39,73185	-1,56767	0,177744
(x₁) * (x₂)	139,167	47,01881	2,95981	0,031526
R²	89,46%			

Tabela 75. Coeficientes de regressão para resposta *resistência* máxima a 135 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	738,868	61,61708	11,99128	0,000071
x₁ (L)	-140,127	37,78930	-3,70812	0,013882
x₁ (Q)	-18,607	45,09247	-0,41264	0,696968
x₂ (L)	-27,404	37,78930	-0,72519	0,500841
x₂ (Q)	-48,787	45,09247	-1,08192	0,328684
(x₁) * (x₂)	41,250	53,36259	0,77301	0,474453
R²	76,25%			

Tabela 76. Coeficientes de regressão para resposta *extensibilidade* a 45 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	98,65997	6,020042	16,38859	0,000015
x₁ (L)	-2,12904	3,692047	-0,57666	0,589159
x₁ (Q)	-0,95538	4,405573	-0,21686	0,836890
x₂ (L)	-7,20623	3,692047	-1,95182	0,108417
x₂ (Q)	5,24819	4,405573	1,19126	0,287011
(x₁) * (x₂)	4,95833	5,213571	0,95104	0,385256
R²	57,67%			

Tabela 77. Coeficientes de regressão para resposta *extensibilidade* a 90 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	78,9314	3,543634	22,27413	0,000003
x₁ (L)	0,9704	2,173284	0,44651	0,673905
x₁ (Q)	-3,6626	2,593294	-1,41232	0,216963
x₂ (L)	-12,5160	2,173284	-5,75902	0,002216
x₂ (Q)	3,9662	2,593294	1,52940	0,186715
(x₁) * (x₂)	-1,9583	3,068913	-0,63812	0,551471
R²	88,86%			

Tabela 78. Coeficientes de regressão para resposta *extensibilidade* a 135 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	62,3977	3,295509	18,93416	0,000008
x₁ (L)	-0,1099	2,021111	-0,05438	0,958738
x₁ (Q)	-1,4280	2,411712	-0,59210	0,579543
x₂ (L)	-13,2751	2,021111	-6,56823	0,001227
x₂ (Q)	8,5900	2,411712	3,56177	0,016184
(x₁) * (x₂)	-4,3750	2,854028	-1,53292	0,185871
R²	92,43%			

Tabela 79. Coeficientes de regressão para *número proporcional* a 45 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	6,22339	0,691992	8,99344	0,000284
x₁ (L)	-1,77390	0,424394	-4,17984	0,008656
x₁ (Q)	0,48567	0,506412	0,95904	0,381582
x₂ (L)	0,94672	0,424394	2,23076	0,076092
x₂ (Q)	-0,37326	0,506412	-0,73706	0,494197
(x₁) * (x₂)	-0,20981	0,599290	-0,35010	0,740531
R²	83,12%			

Tabela 80. Coeficientes de regressão para resposta *número proporcional* a 90 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	11,42834	0,472504	24,18679	0,000002
x₁ (L)	-2,12076	0,289783	-7,31843	0,000747
x₁ (Q)	-0,07514	0,345787	-0,21731	0,836555
x₂ (L)	2,57207	0,289783	8,87583	0,000302
x₂ (Q)	-0,81375	0,345787	-2,35333	0,065290
(x₁) * (x₂)	1,65268	0,409205	4,03877	0,009935
R²	96,86%			

Tabela 81. Coeficientes de regressão para resposta *número proporcional* a 135 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	11,91817	0,958651	12,43223	0,000060
x₁ (L)	-2,02692	0,587934	-3,44753	0,018286
x₁ (Q)	-0,17873	0,701558	-0,25476	0,809057
x₂ (L)	1,17252	0,587934	1,99431	0,102682
x₂ (Q)	-1,72420	0,701558	-2,45767	0,057393
(x₁) * (x₂)	1,09675	0,830226	1,32103	0,243717
R²	82,69%			

Tabela 82. Coeficientes de regressão para resposta *energia* a 45 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	90,0424	10,56368	8,52377	0,000366
x₁ (L)	-26,1255	6,47863	-4,03257	0,009996
x₁ (Q)	3,5908	7,73069	0,46448	0,661824
x₂ (L)	2,4574	6,47863	0,37931	0,720032
x₂ (Q)	0,1830	7,73069	0,02367	0,982029
(x₁) * (x₂)	7,9542	9,14853	0,86945	0,424365
R²	77,67%			

Tabela 83. Coeficientes de regressão para resposta *energia* a 90 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	94,3882	9,423778	10,01596	0,000170
x₁ (L)	-16,0717	5,779534	-2,78079	0,038866
x₁ (Q)	-7,7337	6,896488	-1,12139	0,313070
x₂ (L)	-3,9742	5,779534	-0,68763	0,522280
x₂ (Q)	-2,1295	6,896488	-0,30878	0,769943
(x₁) * (x₂)	12,4542	8,161328	1,52600	0,187533
R²	70,22%			

Tabela 84. Coeficientes de regressão para resposta *energia* a 135 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	61,6543	6,967669	8,84863	0,000306
x₁ (L)	-9,6421	4,273220	-2,25639	0,073684
x₁ (Q)	-4,4336	5,099064	-0,86948	0,424348
x₂ (L)	-13,9702	4,273220	-3,26924	0,022217
x₂ (Q)	4,5239	5,099064	0,88720	0,415600
(x₁) * (x₂)	-0,5079	6,034250	-0,08417	0,936186
R²	78,23%			

Tabela 85. Coeficientes de regressão para resposta *vol.esp* 45 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	3,08340	0,203329	15,16459	0,000023
x₁ (L)	-0,139608	0,124700	-1,11955	0,313784
x₁ (Q)	-0,167201	0,148800	-1,12366	0,312192
x₂ (L)	0,349563	0,124700	2,80323	0,037849
x₂ (Q)	-0,029268	0,148800	-0,19669	0,851815
(x₁) * (x₂)	0,179690	0,176090	1,02044	0,354327
R²	69,57%			

Tabela 86. Coeficientes de regressão para resposta *vol.esp* 70 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	4,2997	0,174064	24,7020	0,000002
x₁ (L)	-0,388245	0,106752	-3,63690	0,014952
x₁ (Q)	-0,286863	0,127383	-2,25197	0,074093
x₂ (L)	0,373180	0,106752	3,49577	0,017363
x₂ (Q)	-0,206403	0,127383	-1,62034	0,166085
(x₁) * (x₂)	0,240385	0,150745	1,59464	0,171676
R²	87,21%			

Tabela 87. Coeficientes de regressão para resposta *vol.esp* 105 minutos (completo).

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	5,1495	0,250612	20,5476	0,000005
x₁ (L)	-0,580546	0,153699	-3,77717	0,012927
x₁ (Q)	-0,389790	0,183402	-2,12533	0,086917
x₂ (L)	0,433606	0,153699	2,82115	0,037059
x₂ (Q)	-0,202014	0,183402	-1,10148	0,320865
(x₁) * (x₂)	0,134472	0,217039	0,61958	0,562675
R²	84,56%			

Tabela 88. Coeficientes de regressão significativos para resposta *vol.esp* 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	4,96031	0,177190	27,9944	0,000000
x₁ (L)	-0,580546	0,149210	-3,89080	0,005969
x₁ (Q)	-0,330929	0,170321	-1,94297	0,093126
x₂ (L)	0,433606	0,149210	2,90601	0,022790
R²	79,67%			

Tabela 89. Coeficientes de regressão para resposta *firmeza* 35 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	233,935	30,7371	7,61084	0,000622
x₁ (L)	95,1437	18,85082	5,04719	0,003943
x₁ (Q)	56,1016	22,49394	2,49407	0,054887
x₂ (L)	-72,4085	18,85082	-3,84113	0,012110
x₂ (Q)	25,6211	22,49394	1,13902	0,306305
(x₁) * (x₂)	-48,3917	26,61940	-1,81791	0,128755
R²	90,90%			

Tabela 90. Coeficientes de regressão significativos para resposta *firmeza* 35 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	257,926	26,2184	9,83761	0,000024
x₁ (L)	95,1437	22,07832	4,30937	0,003526
x₁ (Q)	48,6363	25,20207	1,92985	0,094943
x₂ (L)	-72,4085	22,07832	-3,27962	0,013494
R²	82,52%			

Tabela 91. Coeficientes de regressão para resposta *firmeza* 70 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	151,230	22,2873	6,78551	0,021036
x₁ (L)	91,5365	13,6686	6,69684	0,021579
x₁ (Q)	56,0073	16,3102	3,43388	0,075347
x₂ (L)	-51,5034	13,6686	-3,76800	0,063770
x₂ (Q)	13,1590	16,3102	0,80680	0,504474
(x₁) * (x₂)	-64,6401	19,3016	-3,34896	0,078771
R²	97,25%			

Tabela 92. Coeficientes de regressão significativos para resposta *firmeza* 70 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	163,5523	11,42556	14,31460	0,000007
x₁ (L)	91,5365	9,62138	9,51387	0,000077
x₁ (Q)	52,1731	10,98266	4,75050	0,003157
x₂ (L)	-51,5034	9,62138	-5,35301	0,001740
(x₁) * (x₂)	-64,6401	13,58643	-4,75769	0,003134
R²	96,48%			

. Tabela 93. Coeficientes de regressão para resposta *firmeza* 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	109,166	15,7033	6,95177	0,000946
x₁ (L)	74,8387	9,63071	7,77084	0,000565
x₁ (Q)	42,0756	11,4919	3,66132	0,014575
x₂ (L)	-37,7503	9,63071	-3,91979	0,011184
x₂ (Q)	7,0217	11,4919	0,61101	0,567902
(x₁) * (x₂)	-29,6378	13,5996	-2,17932	0,081183
R²	94,96%			

Tabela 94. Coeficientes de regressão significativos para resposta *firmeza* 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	115,741	10,8229	10,6940	0,000039
x₁ (L)	74,8387	9,11390	8,21149	0,000176
x₁ (Q)	40,0297	10,4034	3,84776	0,008482
x₂ (L)	-37,7503	9,11390	-4,14206	0,006065
(x₁) * (x₂)	-29,6378	12,86981	-2,30290	0,060858
R²	94,58%			

Tabela 95. Coeficientes de regressão para resposta *umidade* 35 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	38,25843	0,795713	48,08070	0,000000
x₁ (L)	-1,74522	0,488005	-3,57623	0,015938
x₁ (Q)	1,51871	0,582317	2,60804	0,047783
x₂ (L)	-0,41939	0,488005	-0,85939	0,429395
x₂ (Q)	1,10877	0,582317	1,90406	0,115261
(x₁) * (x₂)	1,56500	0,689116	2,27103	0,072346
R²	84,33%			

Tabela 96. Coeficientes de regressão para resposta *umidade* 75 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	39,26991	0,941442	41,71252	0,000000
x₁ (L)	-1,29737	0,577379	-2,24700	0,074557
x₁ (Q)	1,51731	0,688964	2,20231	0,078864
x₂ (L)	-0,47167	0,577379	-0,81691	0,451135
x₂ (Q)	0,09887	0,688964	0,14351	0,891493
(x₁) * (x₂)	1,57750	0,815322	1,93482	0,110804
R²	74,46%			

Tabela 97. Coeficientes de regressão para resposta *umidade* 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	40,09206	0,497908	80,52103	0,000000
x₁ (L)	-1,68700	0,305363	-5,52457	0,002662
x₁ (Q)	0,78538	0,364378	2,15539	0,083673
x₂ (L)	-0,24563	0,305363	-0,80437	0,457706
x₂ (Q)	-0,15205	0,364378	-0,41728	0,693784
(x₁) * (x₂)	0,91698	0,431206	2,12654	0,086783
R²	89,25%			

Tabela 98. Coeficientes de regressão significativos para resposta *umidade* 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	39,94969	0,330683	120,8096	0,000000
x₁ (L)	-1,68700	0,278466	-6,0582	0,000512
x₁ (Q)	0,82968	0,317864	2,6102	0,034905
(x₁) * (x₂)	0,91698	0,393224	2,3320	0,052463
R²	87,49%			

Tabela 99. Coeficientes de regressão para resposta *Aw* 45 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	0,942462	0,003129	301,2139	0,000011
x₁ (L)	-0,002268	0,001919	-1,1819	0,358727
x₁ (Q)	0,003760	0,002290	1,6422	0,242246
x₂ (L)	0,002653	0,001919	1,3825	0,300958
x₂ (Q)	0,000826	0,002290	0,3608	0,752775
(x₁) * (x₂)	-0,000167	0,002710	-0,0615	0,956549
R²	48,57%			

Tabela 100. Coeficientes de regressão para resposta *Aw* 70 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	0,940884	0,003571	263,4716	0,000014
x₁ (L)	-0,000868	0,002190	-0,3961	0,730274
x₁ (Q)	0,002191	0,002613	0,8384	0,490062
x₂ (L)	0,001862	0,002190	0,8503	0,484728
x₂ (Q)	0,001688	0,002613	0,6459	0,584566
(x₁) * (x₂)	0,000000	0,003093	0,0000	1,000000
R²	28,34%			

Tabela 101. Coeficientes de regressão para resposta *Aw* 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	0,947666	0,002617	362,1706	0,000000
x₁ (L)	0,000812	0,001605	0,5063	0,634204
x₁ (Q)	-0,000792	0,001915	-0,4135	0,696389
x₂ (L)	0,004294	0,001605	2,6761	0,044027
x₂ (Q)	-0,001965	0,001915	-1,0264	0,351776
(x₁) * (x₂)	0,000500	0,002266	0,2206	0,834096
R²	63,06%			

Tabela 102. Coeficientes de regressão para resposta *L* * 35 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	77,0129	0,758213	101,5717	0,000097
x₁ (L)	-2,23733	0,465006	-4,8114	0,040586
x₁ (Q)	0,30166	0,554873	0,5437	0,641178
x₂ (L)	1,00064	0,465006	2,1519	0,164316
x₂ (Q)	0,12310	0,554873	0,2218	0,845026
(x₁) * (x₂)	1,27250	0,656639	1,9379	0,192223
R²	71,87%			

Tabela 103. Coeficientes de regressão significativos para resposta *L* * 35 minutos

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	77,32091	0,534559	144,6443	0,000000
x₁ (L)	-2,23733	0,627760	-3,5640	0,009170
x₂ (L)	1,00064	0,627760	1,5940	0,154969
(x₁) * (x₂)	1,27250	0,886466	1,4355	0,194288
R²	70,20%			

Tabela 104. Coeficientes de regressão para resposta L* 70 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	79,0329	1,13759	69,4739	0,000000
x₁ (L)	-2,31865	0,697676	-3,3234	0,020930
x₁ (Q)	-0,94189	0,832510	-1,13138	0,309221
x₂ (L)	1,05667	0,697676	1,51455	0,190312
x₂ (Q)	-0,77590	0,832510	-0,93200	0,394117
(x₁) * (x₂)	1,47750	0,985195	1,49970	0,193978
R²	77,54%			

Tabela 105. Coeficientes de regressão para resposta L* 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	78,1803	1,24221	62,9365	0,000000
x₁ (L)	-3,24409	0,761838	-4,25824	0,008028
x₁ (Q)	-1,26569	0,909071	-1,39229	0,222584
x₂ (L)	1,24083	0,761838	1,62873	0,164299
x₂ (Q)	-0,54138	0,909071	-0,59553	0,577418
(x₁) * (x₂)	1,63500	1,07580	1,51980	0,189033
R²	83,37%			

Tabela 106. Coeficientes de regressão significativos para resposta L* 35 minutos

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	77,67338	0,854659	90,88226	0,000000
x₁ (L)	-3,24409	0,719702	-4,50754	0,004071
x₁ (Q)	-1,10795	0,821530	-1,34864	0,226128
x₂ (L)	1,24083	0,719702	1,72409	0,135458
(x₁) * (x₂)	1,63500	1,016298	1,60878	0,158789
R²	71,19%			

Tabela 107. Coeficientes de regressão para resposta C* 35 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	17,0681	0,207295	82,3372	0,000000
x₁ (L)	0,18088	0,127133	1,42280	0,214073
x₁ (Q)	0,43000	0,151702	2,83449	0,036482
x₂ (L)	-0,13994	0,127133	-1,10075	0,321153
x₂ (Q)	0,16820	0,151702	1,10874	0,318004
(x₁) * (x₂)	-0,11538	0,179525	-0,64271	0,548723
R²	70,19%			

Tabela 108. Coeficientes de regressão para resposta C* 70 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	16,9326	0,204633	82,7463	0,000000
x₁ (L)	0,44198	0,125500	3,52176	0,016887
x₁ (Q)	0,31568	0,149754	2,10797	0,088851
x₂ (L)	-0,11640	0,125500	-0,92751	0,396232
x₂ (Q)	0,04105	0,149754	0,27411	0,794964
(x₁) * (x₂)	-0,20517	0,177219	-1,15771	0,299277
R²	79,32%			

Tabela 109. Coeficientes de regressão significativos para resposta C* 70 minutos

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	16,97217	0,136979	123,9037	0,000000
x₁ (L)	0,44207	0,115349	3,8324	0,008635
x₁ (Q)	0,30292	0,131669	2,3006	0,061049
x₂ (L)	-0,11684	0,115349	-1,0129	0,350204
(x₁) * (x₂)	-0,20500	0,162885	-1,2586	0,254944
R²	79,01%			

Tabela 110. Coeficientes de regressão para resposta C* 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	16,2019	0,172097	94,1440	0,000000
x₁ (L)	0,36841	0,105546	3,49051	0,017461
x₁ (Q)	0,62664	0,125944	4,97559	0,004192
x₂ (L)	-0,59373	0,105546	-5,62532	0,002459
x₂ (Q)	0,32485	0,125944	2,57931	0,049473
(x₁) * (x₂)	0,34000	0,149042	2,28124	0,071428
R²	93,76%			

Tabela 111. Coeficientes de regressão para resposta h 35 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	86,6118	0,596901	145,1024	0,000000
x₁ (L)	-1,40344	0,366075	-3,8337	0,012201
x₁ (Q)	0,05357	0,436823	0,1226	0,907172
x₂ (L)	0,18936	0,366075	0,5173	0,627022
x₂ (Q)	-0,13002	0,436823	-0,2977	0,777938
(x₁) * (x₂)	0,53250	0,516938	1,0301	0,350189
R²	76,37%			

Tabela 112. Coeficientes de regressão significativos para resposta h 35 minutos

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	86,55636	0,264205	327,6104	0,000000
x_1 (L)	-1,40344	0,310270	-4,5233	0,001440
R^2	69,45%			

Tabela 113. Coeficientes de regressão para resposta h 70 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	87,5583	0,659122	132,8409	0,000000
x_1 (L)	-1,69705	0,404235	-4,1982	0,008504
x_1 (Q)	0,17270	0,482357	0,3580	0,734936
x_2 (L)	0,35838	0,404235	0,8866	0,415915
x_2 (Q)	-0,10143	0,482357	-0,2103	0,841750
$(x_1) * (x_2)$	0,41500	0,570823	0,7270	0,499813
R^2	79,32%			

Tabela 114. Coeficientes de regressão significativos para resposta h 70 minutos

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	87,61000	0,293673	298,3248	0,000000
x_1 (L)	-1,69705	0,344876	-4,9208	0,000824
R^2	72,90%			

Tabela 115. Coeficientes de regressão para resposta h 105 minutos.

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	88,3288	0,527458	167,4614	0,000000
x_1 (L)	-1,29562	0,323486	-4,0052	0,010271
x_1 (Q)	-0,05194	0,386003	-0,1346	0,898207
x_2 (L)	0,93898	0,323486	2,9027	0,033685
x_2 (Q)	-0,39901	0,386003	-1,0337	0,348665
$(x_1) * (x_2)$	-0,39000	0,456797	-0,8538	0,432222
R^2	84,02%			

Tabela 116. Coeficientes de regressão significativos para resposta h 105 minutos

Variáveis	Coefi. de regressão	Erro padrão	t(5)	p-valor
Média	88,00182	0,254479	345,8120	0,000000
x_1 (L)	-1,29562	0,298848	-4,3354	0,002494
x_2 (L)	0,93898	0,298848	3,1420	0,013764
R^2	78,18%			

Anexo VI

**Valores experimentais, previstos pelo modelo,
desvios e desvios relativos**

Tabela 117. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos das respostas *tempo de saída e estabilidade*.

Ensaio	Codificada		Real		Tempo de Saída				Estabilidade			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp (min)	Predito (min)	Erro (min)	Desvio relativo	Exp (min)	Predito (min)	Erro (min)	Desvio relativo
1	-1	-1	14,54	0,12	8,3	9,5	1,2	14%	7	8,3	1,3	19%
2	1	-1	85,46	0,12	2,5	2,4	-0,1	-2%	1,5	2,4	0,9	63%
3	-1	1	14,54	0,68	5,8	9,5	3,7	64%	4,7	9,5	4,8	102%
4	1	1	85,46	0,68	4,5	2,4	-2,1	-46%	3,2	2,4	-0,8	-24%
5	-1,41	0	0	0,4	17	13,9	-3,1	-18%	15,8	13,9	-1,9	-12%
6	1,41	0	100	0,4	2,2	3,9	1,7	79%	1,2	3,9	2,7	228%
7	0	-1,41	50	0	3,5	3,0	-0,5	-14%	2,3	3,0	0,7	30%
8	0	1,41	50	0,8	2,7	3,0	0,3	11%	1,7	3,0	1,3	76%
9	0	0	50	0,4	4	3,0	-1,0	-25%	2,8	3,0	0,2	7%
10	0	0	50	0,4	3	3,0	0,0	0%	2	3,0	1,0	50%
11	0	0	50	0,4	2,8	3,0	0,2	7%	2	3,0	1,0	50%

Tabela 118. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *absorção com sal*.

Ensaio	Codificada		Real		Absorção com Sal			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp (%)	Predito (%)	Erro (%)	Desvio relativo
1	-1	-1	14,54	0,12	55,5	55,8	0,28	0,5%
2	1	-1	85,46	0,12	53,5	54,2	0,74	1,4%
3	-1	1	14,54	0,68	56,1	55,8	-0,32	-0,6%
4	1	1	85,46	0,68	54,5	54,2	-0,26	-0,5%
5	-1,41	0	0	0,4	56,5	56,6	0,07	0,1%
6	1,41	0	100	0,4	54,7	54,4	-0,30	-0,5%
7	0	-1,41	50	0	55,1	54,5	-0,57	-1,0%
8	0	1,41	50	0,8	54,1	54,5	0,43	0,8%
9	0	0	50	0,4	54,8	54,5	-0,27	-0,5%
10	0	0	50	0,4	54,8	54,5	-0,27	-0,5%
11	0	0	50	0,4	54,1	54,5	0,43	0,8%

Tabela 119. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *resistência e resistência máxima* a 90 minutos.

Ensaio	Codificada		Real		Resistência 90 minutos				Resistência Máxima 90 minutos			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp (UE)	Predito (UE)	Erro (UE)	Desvio relativo	Exp (UE)	Predito (UE)	Erro (UE)	Desvio relativo
1	-1	-1	14,54	0,12	1000,0	1005,1	5,15	1%	1000,0	1126,7	126,67	13%
2	1	-1	85,46	0,12	403,3	394,3	-8,95	-2%	408,3	529,2	120,86	30%
3	-1	1	14,54	0,68	1000,0	883,3	-116,69	-12%	1000,0	910,5	-89,51	-9%
4	1	1	85,46	0,68	958,3	827,5	-130,79	-14%	965,0	869,6	-95,36	-10%
5	-1,41	0	0	0,4	1000,0	1099,6	99,63	10%	1000,0	1042,8	42,76	4%
6	1,41	0	100	0,4	510,0	629,7	119,67	23%	541,7	592,7	51,02	9%
7	0	-1,41	50	0	605,0	581,8	-23,20	-4%	663,3	856,9	193,62	29%
8	0	1,41	50	0,8	651,7	801,3	149,59	23%	796,7	944,6	147,85	19%
9	0	0	50	0,4	883,3	864,7	-18,65	-2%	888,3	900,7	12,44	1%
10	0	0	50	0,4	973,3	864,7	-108,65	-11%	976,7	900,7	-75,96	-8%
11	0	0	50	0,4	831,7	864,7	32,95	4%	838,3	900,7	62,44	7%

Tabela 120. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *extensibilidade* a 90 e 135 minutos.

Ensaio	Codificada		Real		Extensibilidade 90 minutos				Extensibilidade 135 minutos			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp (mm)	Predito (mm)	Erro (mm)	Desvio relativo	Exp (mm)	Predito (mm)	Erro (mm)	Desvio relativo
1	-1	-1	14,54	0,12	84,7	91,8	7,1	8%	74,5	79,0	4,5	6%
2	1	-1	85,46	0,12	94,3	91,8	-2,5	-3%	81,2	87,7	6,5	8%
3	-1	1	14,54	0,68	71,3	66,7	-4,6	-6%	64,5	61,2	-3,3	-5%
4	1	1	85,46	0,68	73,2	66,7	-6,5	-9%	53,7	52,4	-1,3	-2%
5	-1,41	0	0	0,4	71,3	71,6	0,3	0%	59,5	61,1	1,6	3%
6	1,41	0	100	0,4	68,7	71,6	2,9	4%	61,8	61,1	-0,7	-1%
7	0	-1,41	50	0	108,3	104,5	-3,8	-4%	104,8	97,7	-7,1	-7%
8	0	1,41	50	0,8	62	69,2	7,2	12%	56,3	60,2	3,9	7%
9	0	0	50	0,4	76	78,9	2,9	4%	59,3	61,1	1,8	3%
10	0	0	50	0,4	79,2	78,9	-0,3	0%	61,7	61,1	-0,6	-1%
11	0	0	50	0,4	81,7	78,9	-2,8	-3%	66,2	61,1	-5,1	-8%

Tabela 121. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *número proporcional (D)* a 90 e 135 minutos.

Ensaio	D 90 minutos								D 135 minutos			
	Codificada		Real		Vol.esp 70 minutos				Vol.esp 105 minutos			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp (mL/g)	Predito (mL/g)	Erro (mL/g)	Desvio relativo (%)	Exp (mL/g)	Predito (mL/g)	Erro (mL/g)	Desvio relativo (%)
1	-1	-1	14,54	0,12	11,8	9,6	-2,24	-19%	12,4	9,8	-2,6	-21%
2	1	-1	85,46	0,12	4,4	8	3,61	82%	6,7	8,0	1,3	19%
3	-1	1	14,54	0,68	14	14,7	0,7	5%	13,4	14,4	1,0	7%
4	1	1	85,46	0,68	13,2	13,1	-0,05	0%	12,1	8,1	-4,0	-33%
5	-1,41	0	0	0,4	14	14,3	0,27	2%	13,7	14,6	0,9	7%
6	1,41	0	100	0,4	7,9	8,3	0,39	5%	7,2	8,9	1,7	24%
7	0	-1,41	50	0	6,1	7,8	1,7	28%	6,3	6,8	0,5	8%
8	0	1,41	50	0,8	12,9	15,1	2,15	17%	8,4	10,1	1,7	20%
9	0	0	50	0,4	11,7	11,4	-0,27	-2%	12,4	11,8	-0,6	-5%
10	0	0	50	0,4	12,3	11,4	-0,87	-7%	12,5	11,8	-0,7	-6%
11	0	0	50	0,4	10,3	11,4	1,13	11%	10,9	11,8	0,9	8%

Tabela 122. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *volume específico* nos tempos 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificada		Real		Vol.esp 70 minutos				Vol.esp 105 minutos			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp (mL/g)	Predito (mL/g)	Erro (mL/g)	Desvio relativo (%)	Exp (mL/g)	Predito (mL/g)	Erro (mL/g)	Desvio relativo (%)
	1	-1	-1	14,54	0,12	5,13	4,06	-1,07	-21%	5,13	4,78	-0,35
2	1	-1	85,46	0,12	3,76	2,80	-0,95	-25%	3,76	3,62	-0,14	-4%
3	-1	1	14,54	0,68	5,18	4,33	-0,86	-17%	5,18	5,64	0,46	9%
4	1	1	85,46	0,68	4,35	4,03	-0,32	-7%	4,35	4,48	0,13	3%
5	-1,41	0	0	0,4	5,19	4,28	-0,91	-18%	5,19	5,12	-0,07	-1%
6	1,41	0	100	0,4	3,47	3,18	-0,28	-8%	3,47	3,48	0,02	1%
7	0	-1,41	50	0	3,70	3,36	-0,34	-9%	3,70	4,35	0,65	17%
8	0	1,41	50	0,8	5,70	4,42	-1,28	-22%	5,70	5,57	-0,12	-2%
9	0	0	50	0,4	5,14	4,30	-0,84	-16%	5,14	4,96	-0,18	-4%
10	0	0	50	0,4	4,75	4,30	-0,45	-10%	4,75	4,96	0,21	4%
11	0	0	50	0,4	5,56	4,30	-1,26	-23%	5,56	4,96	-0,60	-11%

Tabela 123 Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *firmeza* nos tempos 35, 70 e 105 minutos.

Ensaio	Codificada		Real		Firmeza 35 minutos				Firmeza 70 minutos				Firmeza 105 minutos			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp (g)	Predito (g)	Erro (g)	Desvio relativo	Exp (g)	Predito (g)	Erro (g)	Desvio relativo	Exp (g)	Predito (g)	Erro (g)	Desvio relativo
1	-1	-1	14,54	0,12	212,6	283,8	71,2	34%	116,9	111,1	-5,8	-5%	84,0	89,0	5,1	6%
2	1	-1	85,46	0,12	496,5	474,1	-22,4	-5%	420,7	423,4	2,7	1%	273,7	298,0	24,3	9%
3	-1	1	14,54	0,68	200,8	139,0	-61,8	-31%	137,7	137,3	-0,4	0%	76,0	72,8	-3,1	-4%
4	1	1	85,46	0,68	291,2	329,3	38,1	13%	182,9	191,1	8,2	4%	147,2	163,2	16,1	11%
5	-1,41	0	0	0,4	224,6	220,5	-4,1	-2%	133,3	138,2	4,9	4%	86,8	89,8	3,0	3%
6	1,41	0	100	0,4	497,4	488,8	-8,6	-2%	403,6	396,3	-7,3	-2%	325,1	300,8	-24,2	-7%
7	0	-1,41	50	0	428,2	360,0	-68,2	-16%	252,0	236,2	-15,8	-6%	195,3	169,0	-26,3	-13%
8	0	1,41	50	0,8	172,5	155,8	-16,7	-10%	114,5	90,9	-23,6	-21%	77,2	62,5	-14,7	-19%
9	0	0	50	0,4	257,1	257,9	0,8	0%	164,2	163,6	-0,6	0%	123,4	115,7	-7,7	-6%
10	0	0	50	0,4	288,5	257,9	-30,5	-11%	181,6	163,6	-18,0	-10%	125,8	115,7	-10,0	-8%
11	0	0	50	0,4	155,9	257,9	102,1	65%	107,7	163,6	55,9	52%	78,0	115,7	37,8	48%

Tabela 124 Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta *umidade* nos tempos 35 e 105 minutos.

Ensaio	Codificada		Real		Umidade 35 minutos				Umidade 105 minutos			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp (%)	Predito (%)	Erro (%)	Desvio relativo	Exp (%)	Predito (%)	Erro (%)	Desvio relativo
1	-1	-1	14,54	0,12	45,02	44,616	-0,40	-1%	43,91	43,38	-0,53	-1%
2	1	-1	85,46	0,12	38,61	37,995	-0,61	-2%	38,67	38,18	-0,49	-1%
3	-1	1	14,54	0,68	39,59	40,647	1,06	3%	40,60	41,55	0,95	2%
4	1	1	85,46	0,68	39,44	40,286	0,85	2%	39,02	40,01	0,99	3%
5	-1,41	0	0	0,4	44,11	43,739	-0,37	-1%	44,18	43,98	-0,21	0%
6	1,41	0	100	0,4	38,89	38,817	-0,07	0%	39,48	39,22	-0,26	-1%
7	0	-1,41	50	0	40,24	41,054	0,81	2%	39,61	39,95	0,34	1%
8	0	1,41	50	0,8	41,13	39,871	-1,26	-3%	40,32	39,95	-0,37	-1%
9	0	0	50	0,4	36,49	38,258	1,77	5%	40,57	39,95	-0,62	-2%
10	0	0	50	0,4	39,30	38,258	-1,04	-3%	39,09	39,95	0,86	2%
11	0	0	50	0,4	38,98	38,258	-0,72	-2%	40,61	39,95	-0,66	-2%

Tabela 125. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta L^* e C^* em 105 minutos.

Ensaio	L* 105 minutos								C* 105 minutos			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp	Predito	Erro	Desvio relativo	Exp	Predito	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	14,54	0,12	80,05	80,01	-0,04	0%	17,80	17,72	-0,08	0%
2	1	-1	85,46	0,12	71,28	70,25	-1,03	-1%	17,99	17,78	-0,21	-1%
3	-1	1	14,54	0,68	77,28	79,22	1,94	3%	16,00	15,85	-0,15	-1%
4	1	1	85,46	0,68	75,05	76,00	0,95	1%	17,55	17,27	-0,28	-2%
5	-1,41	0	0	0,4	81,4	80,24	-1,16	-1%	16,84	16,93	0,09	1%
6	1,41	0	100	0,4	70,85	71,09	0,24	0%	17,69	17,97	0,28	2%
7	0	-1,41	50	0	74,41	75,35	0,94	1%	17,55	17,68	0,13	1%
8	0	1,41	50	0,8	80,72	78,85	-1,87	-2%	15,78	16,01	0,23	1%
9	0	0	50	0,4	75,74	78,18	2,44	3%	15,91	16,20	0,29	2%
10	0	0	50	0,4	80,56	78,18	-2,38	-3%	16,40	16,20	-0,20	-1%
11	0	0	50	0,4	78,23	78,18	-0,05	0%	16,30	16,20	-0,10	-1%

Tabela 126. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta h em 70 e 105 minutos.

Ensaio	h 70 minutos								h 105 minutos			
	TTC (%)	MTGase (%)	TTC (%)	MTGase (%)	Exp	Predito	Erro	Desvio relativo	Exp (°)	Predito (°)	Erro (°)	Desvio relativo
1	-1	-1	14,54	0,12	90,66	89,31	-1,35	-1%	87,91	88,36	0,45	1%
2	1	-1	85,46	0,12	85,6	85,91	0,31	0%	86,35	85,77	-0,58	-1%
3	-1	1	14,54	0,68	89,25	89,31	0,06	0%	89,65	90,24	0,59	1%
4	1	1	85,46	0,68	85,85	85,91	0,06	0%	86,53	87,65	1,12	1%
5	-1,41	0	0	0,4	89,49	90	0,51	1%	90,50	89,83	-0,67	-1%
6	1,41	0	100	0,4	85,89	85,22	-0,67	-1%	86,49	86,17	-0,32	0%
7	0	-1,41	50	0	85,72	87,61	1,89	2%	85,83	86,68	0,85	1%
8	0	1,41	50	0,8	88,57	87,61	-0,96	-1%	89,78	89,33	-0,45	-1%
9	0	0	50	0,4	86,6	87,61	1,01	1%	87,26	88,00	0,74	1%
10	0	0	50	0,4	88,08	87,61	-0,47	-1%	89,05	88,00	-1,05	-1%
11	0	0	50	0,4	88	87,61	-0,39	0%	88,67	88,00	-0,67	-1%

Anexo VII
Coeficiente de correlação de Pearson para as
respostas

Tabela 127. Coeficiente de correlação de Pearson para as respostas dos pães de forma produzidos no delineamento experimental.

	Volume	textura	U	AW	L	C	h
Volume	1	-0,92	0,52	0,44	0,83	-0,76	0,80
textura	-0,92	1	-0,54	-0,34	-0,88	0,66	-0,74
U	0,52	-0,54	1	-0,13	0,62	-0,05	0,53
AW	0,44	-0,34	-0,13	1	0,26	-0,42	0,42
L	0,83	-0,88	0,62	0,26	1	-0,55	0,84
C	-0,76	0,66	-0,05	-0,42	-0,55	1	-0,68
h	0,80	-0,74	0,53	0,42	0,84	-0,68	1

Anexo VIII

Resultados das análises de vida de prateleira

Tabela 128. Média das análises de *firmeza* dos pães de forma nos dias 1, 3 e 7 de armazenamento.

Dias de armazenamento	Firmeza (g)		
	V70min	V105min	Padrão
1	145,5 ± 8,8	95,0 ± 11,5	60,4 ± 12,1
2	188,6 ± 8,8	130,6 ± 8,8	77,7 ± 19,6
3	249,4 ± 8,8	154,6 ± 0,7	96,0 ± 12,0

Tabela 129. Média das análises de *umidade* dos pães de forma nos dias 1, 3 e 7 de armazenamento.

Dias de armazenamento	Umidade (%)		
	V70min	V105min	Padrão
1	40,57 ± 0,24	40,81 ± 0,70	40,70 ± 0,38
2	39,74 ± 0,17	40,14 ± 0,07	40,35 ± 0,56
3	38,99 ± 0,44	39,57 ± 0,21	39,88 ± 0,04

Anexo IX

Resultados da análise sensorial

Tabela 130. Desgostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de pão de forma (números indicam a frequência com que foram citados).

Gostos	Amostra		
	Padrão	V70min	V105min
Aparência	11	14	15
Cor da casca	1	-	2
Cor do miolo	-	1	1
Uniformidade da massa	2	-	-
Formato	1	1	1
Tamanho da fatia	1	-	-
Total de menções positivas sobre a aparência	16	16	19
Aroma	8	6	7
Total de menções positivas sobre o aroma	8	6	7
Sabor	25	30	31
Intensidade de sal	-	1	1
Total de menções positivas sobre o sabor	25	31	32
Maciez	35	26	32
Textura	5	4	6
Frescor	1	1	2
Total de menções positivas sobre a textura	41	31	40
Tudo	9	6	5
TOTAL DE MENÇÕES POSITIVAS	99	90	103

Tabela 131. Gostos descritos pelos consumidores em relação às amostras de pão de forma (números indicam a frequência com que foram citados).

Desgostos	Amostra		
	Padrão	V70min	V105min
Aparência	1	5	4
Cor	1	-	-
Cor do miolo	-	-	-
Casca/borda	4	3	7
Uniformidade da massa	-	-	-
Formato da fatia	2	1	-
Tamanho	-	2	-
Total de menções negativas sobre a aparência	8	11	11
Aroma	8	8	7
Total de menções negativas sobre o aroma	8	8	7
Sabor	13	8	13
Doce/adocicado	-	3	-
Intensidade de sal	2	-	-
Total de menções negativas sobre o sabor	15	11	13
Maciez	5	11	9
Textura	2	3	4
Mais firme	-	3	1
Seco	1	1	2
Borrachudo/cru	-	4	-
Total de menções negativas sobre a textura	8	22	16
TOTAL DE MENÇÕES NEGATIVAS	39	52	47
Nada	19	14	11

