



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Departamento de Tecnologia de Alimentos



# **EFEITO DA ADIÇÃO DE FIBRA ALIMENTAR SOBRE A QUALIDADE DE PÃO PRÉ-ASSADO CONGELADO**

---

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

***Eveline Lopes Almeida***  
*Engenheira de Alimentos*

***Profa. Dra. Caroline Joy Steel***  
*Orientadora*

Campinas -SP  
2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

AL64e Almeida, Eveline Lopes  
Efeito da adição de fibra alimentar sobre a qualidade de pão  
pré-assado congelado / Eveline Lopes Almeida. -- Campinas,  
SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Caroline Joy Steel  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Pão pré-assado. 2. Congelamento. 3. Fibra alimentar.  
4. Farelo de trigo. 5. Amido resistente. 6. Goma de alfarroba  
(LBG) I. Steel, Caroline Joy. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Effect of adding of dietary fiber on quality of freezing part-baked  
bread

Palavras-chave em inglês (Keywords): Par-baked bread, Freezing, Dietary fiber,  
Wheat bran, Resistant starch, Locust bean  
gum (LBG)

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Caroline Joy Stell  
Carmen Cecilia Tadini  
Myriam de las Mercedes Salas-Mellado  
Vivaldo Silveira Junior

**EVELINE LOPES ALMEIDA**

**Efeito da adição de fibra alimentar sobre a qualidade de pão pré-assado congelado**

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

Aprovada em

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Caroline Joy Steel  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
(Orientadora)

---

Profa. Dra. Carmen Cecília Tadini  
Universidade de São Paulo - USP  
(Membro)

---

Profa. Dra. Myriam de las Mercedes Salas-Mellado  
Universidade Federal do Rio Grande - UFRG  
(Membro)

---

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Jr.  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
(Membro)



*Dedico esta conquista*  
*aos meus pais **José Carlos e Maria José,***  
*aos meus irmãos **Everton e Evelise,***  
*e aos meus avós **Fábio (in memoriam) e Maria Luiza***



## AGRADECIMENTOS

A **Deus** por me conceder uma vida repleta de bênçãos e realizações;

À **minha família** por todo carinho, incentivo  
e apoio que sempre me concederam;

À Faculdade de Engenharia de Alimentos/Unicamp especialmente ao  
**Departamento de Tecnologia de Alimentos** pela oportunidade;

Ao **CNPq** pela concessão da bolsa;

À **Caroline** por ter sido mais do que uma orientadora, mas por ter sido uma  
grande amiga em todos os momentos;

Ao **Prof. Yoon** pelas sugestões e auxílio;

Às **Profas. Myriam e Fernanda** pelas sugestões propostas no exame de  
qualificação;

Ao **Prof. Vivaldo** por colocar o Laboratório de Automação e  
Controle de Processos de Alimentos à disposição;

À **Profa. Maria Isabel** pelo auxílio em dúvidas relacionadas  
ao Planejamento Experimental;

Aos **professores membros da banca** pelas sugestões e contribuições  
apresentadas;

Aos amigos **João Paulo e Waldemary** pela grande ajuda na execução do  
trabalho;



*Aos funcionários e amigos da Padaria da FEA **Nilo, Elias, José, Márcia, Joseane, Natássia e Zezé** pela grande ajuda e incentivo na execução do trabalho;*

*Aos amigos e companheiros do Laboratório de Automação e Controle de Processos de Alimentos **Silmar e Márcio**, por todo auxílio e “orientação” na execução do congelamento dos pães,*

*À **Renata** por me auxiliar com as análises e discussões de cor;*

*À **Alessandra** pela ajuda nas análises das matérias-primas;*

*Aos amigos do Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos **Ricardo, Gaby, Reinaldo, André, Matheus, Maria Teresa, Leonard, Larissa, Luciana e Luz** por toda ajuda, companheirismo e apoio;*

*Aos funcionários e amigos do DTA e do DEA **Ana Maria, Carlos, Isaías, Edinho, Priscila e Marlene** por toda colaboração;*

*Às amigas **Kelly, Vivian, Camila, Vanessa e Luciana** por compartilharem comigo toda a “aflição” do término deste trabalho;*

*Às Amigas **Fernanda, Mariana, Michelle, Sabrina, Fabi, Raquel, Rezona e Rezinha** pela companhia caseira.*

*Meus mais sinceros agradecimentos ...*



*“Ousar é perder o equilíbrio momentaneamente.  
Não ousar é perder-se”.*  
(Kierkgaard Soren)



## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da adição de diferentes fontes de fibra alimentar em pão convencional e em pão pré-assado congelado. Um delineamento composto central rotacional (DCCR) foi utilizado, com as porcentagens das diferentes fontes de fibra alimentar - farelo de trigo, amido resistente e *locust bean gum* (LBG) - sendo as variáveis independentes. O delineamento incluiu dezoito ensaios: oito pontos fatoriais, seis pontos axiais e quatro repetições do ponto central. Os resultados foram analisados pela Metodologia de Superfície de Resposta. Os níveis de farelo de trigo, amido resistente e LBG usados foram, respectivamente: 0-20%, 0-20% e 0-3% (base farinha). As variáveis dependentes foram parâmetros farinográficos das combinações de farinha de trigo e fontes de fibra, parâmetros do processo de panificação (tempo de mistura rápida e tempo de fermentação) e características de qualidade dos pães (volume específico, cor instrumental da crosta e do miolo, aceitação sensorial, vida de prateleira avaliada através da umidade do miolo e dureza dos pães após um, quatro e sete dias do forneamento). O efeito do período de estocagem congelada (0, 32 ou 62 dias) foi avaliado através da submissão da média dos dados das características de qualidade dos pães dos dezoito ensaios do planejamento à análise de variância e teste de Tukey. Os resultados mostraram que as fontes de fibra alimentar modificaram a absorção de água e as propriedades de mistura da farinha de trigo, interferiram no tempo de mistura rápida do processo e nas características tecnológicas do pão, como volume, cor, umidade e dureza. No entanto, notou-se que as modificações tecnológicas não inviabilizaram os produtos, uma vez que eles foram bem aceitos sensorialmente e apresentaram uma alta intenção de compra pelos provadores. Verificou-se que o aumento do tempo de estocagem congelada, de 32 para 62 dias, não teve grande interferência na maioria das características dos pães analisados. Concluiu-se que foi possível a produção de pães convencionais e pães pré-assados congelados com fibras que atendem à legislação brasileira para fins de rotulagem nutricional de fibra alimentar (considerados fonte e/ou alto teor de fibras), com parâmetros tecnológicos e sensoriais que os permitem ser considerados produtos de boa qualidade.

**Palavras-chave:** pão pré-assado - congelamento - fibra alimentar - farelo de trigo - amido resistente – goma de alfarroba (LBG).



## ABSTRACT

The aim of this work was to study the effect of adding different dietary fiber sources to conventional bread and to frozen part-baked bread. A central composite rotational design (CCRD) was used, with the percentages of the different dietary fiber sources – wheat bran, resistant starch and locust bean gum (LBG) – being the independent variables. The design included eighteen trials: eight factorial points, six axial points and four repetitions of the central point. Results were analyzed using the Response Surface Methodology. The levels of wheat bran, resistant starch and LBG used were, respectively: 0-20%, 0-20% and 0-3% (flour basis). The dependent variables were farinographic parameters of the combinations of wheat flour and dietary fiber sources, baking process parameters (rapid mixing time and proofing time) and bread quality characteristics (specific volume, crust and crumb instrumental color, sensory acceptance, shelf-life evaluated through crumb moisture and bread hardness after one, four and seven days from baking). The effect of the frozen storage period (0, 32 or 62 days) was evaluated by the submission of the average values of the bread quality characteristics of the eighteen trials of the experimental design to Analysis of Variance and the Tukey test. The results showed that the dietary fiber sources modified the water absorption and the mixing properties of the wheat flour, interfered in the rapid mixing time and in the technological characteristics of bread, such as volume, color, moisture and hardness. Nevertheless, it was shown that the technological modifications did make the products unfeasible, as they had a good sensory acceptance and a high buying intention by the panelists. It was observed that the increase of frozen storage time, from 32 to 62 days, did not greatly affect most of the bread characteristics analyzed. It was concluded that it was possible to produce conventional and frozen part-baked breads with fiber that attend the Brazilian legislation regarding nutritional labeling claims related to dietary fiber (breads that can be considered sources and/or high fiber content), having technological and sensory parameters that permit them to be considered good quality products.

**Keywords:** part-baked bread - freezing - dietary fiber - wheat bran - resistant starch – locust bean gum (LBG).



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Fragmentos estruturais básicos das gomas <i>carob</i> , tara e guar ...	13
<b>Figura 2</b>	Câmara de congelamento utilizada para congelamento dos pães pré-assados .....	26
<b>Figura 3</b>	Aspecto da crosta e do miolo dos pães enriquecidos com fibras com diferentes tempos de pré-assamento: 15, 20, 25 e 30 min ..	35
<b>Figura 4</b>	Posicionamento dos termoresistores na câmara de congelamento .....	37
<b>Figura 5</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais de absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	60
<b>Figura 6</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	61
<b>Figura 7</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do tempo de chegada das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	64
<b>Figura 8</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o tempo de chegada das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	65
<b>Figura 9</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do tempo de desenvolvimento da massa das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	70
<b>Figura 10</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o tempo de desenvolvimento da massa das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	71
<b>Figura 11</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do índice de tolerância à mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	78

<b>Figura 12</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o índice de tolerância à mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	79
<b>Figura 13</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do tempo de mistura rápida.....	83
<b>Figura 14</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o tempo de mistura rápida em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	84
<b>Figura 15</b>	Perfil da temperatura do centro do miolo do pão pré-assado e da câmara ao longo do período de congelamento.....	87
<b>Figura 16</b>	Transição de temperatura dos pães pré-assados em cinco etapas de congelamento.....	88
<b>Figura 17</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do volume específico dos pães convencionais.....	96
<b>Figura 18</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o volume específico dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	98
<b>Figura 19</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do colapso da estrutura dos pães pré-assados.....	105
<b>Figura 20</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o colapso da estrutura dos pães pré-assados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	107
<b>Figura 21</b>	Diagrama do CIELab mostrando as relações de vermelho/verde ( $a^{*+/-}$ ) e amarelo/azul ( $b^{*+/-}$ ), coordenadas oponentes à luminosidade $L^*$ , croma $C^*$ e ângulo de tonalidade $h$ .....	108
<b>Figura 22</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	114

<b>Figura 23</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	115
<b>Figura 24</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do croma da crosta dos pães convencionais.....	121
<b>Figura 25</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do croma da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	122
<b>Figura 26</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o croma da crosta dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	123
<b>Figura 27</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o croma da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	124
<b>Figura 28</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	129
<b>Figura 29</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	130
<b>Figura 30</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da luminosidade do miolo dos pães convencionais.....	137
<b>Figura 31</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	138
<b>Figura 32</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	138

<b>Figura 33</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a luminosidade do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	140
<b>Figura 34</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG estando a terceira variável fixada no nível 0.....	141
<b>Figura 35</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG estando a terceira variável fixada no nível 0.....	142
<b>Figura 36</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do croma do miolo dos pães convencionais.....	147
<b>Figura 37</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do croma do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	148
<b>Figura 38</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o croma do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	149
<b>Figura 39</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o croma do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	150
<b>Figura 40</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais.....	156
<b>Figura 41</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	157
<b>Figura 42</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	157

<b>Figura 43</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	158
<b>Figura 44</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	159
<b>Figura 45</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	160
<b>Figura 46</b>	Perfil dos provadores dos pães convencionais de acordo com a frequência de consumo de pão com fibras.....	162
<b>Figura 47</b>	Perfil dos provadores dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados de acordo com a frequência de consumo de pão com fibras.....	163
<b>Figura 48</b>	Perfil dos provadores dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados de acordo com a frequência de consumo de pão com fibras.....	163
<b>Figura 49</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais.....	174
<b>Figura 50</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da cor do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	174
<b>Figura 51</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da cor do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	175
<b>Figura 52</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	176

<b>Figura 53</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da cor do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	177
<b>Figura 54</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da cor do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	178
<b>Figura 55</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais.....	190
<b>Figura 56</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	190
<b>Figura 57</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	191
<b>Figura 58</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	192
<b>Figura 59</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	193
<b>Figura 60</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	194
<b>Figura 61</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da textura dos pães convencionais.....	209
<b>Figura 62</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da textura dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	210

<b>Figura 63</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da textura dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	211
<b>Figura 64</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da textura dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	212
<b>Figura 65</b>	Intenção de compra dos pães convencionais.....	216
<b>Figura 66</b>	Intenção de compra dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	217
<b>Figura 67</b>	Intenção de compra dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	217
<b>Figura 68</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da intenção de compra dos pães convencionais...	222
<b>Figura 69</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a intenção de compra dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	223
<b>Figura 70</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães convencionais após um dia do forneamento.....	230
<b>Figura 71</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães convencionais após quatro dias do forneamento.....	231
<b>Figura 72</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães convencionais após sete dias do forneamento .....	231
<b>Figura 73</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos pães convencionais após um dia do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	232

<b>Figura 74</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos PC após quatro dias do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	233
<b>Figura 75</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos PC após sete dias do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	234
<b>Figura 76</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.....	242
<b>Figura 77</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.....	243
<b>Figura 78</b>	Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.....	243
<b>Figura 79</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	244
<b>Figura 80</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	245
<b>Figura 81</b>	Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.....	246

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Classificação das fibras .....	4
<b>Tabela 2</b>	Relação ideal entre os constituintes botânicos do trigo e as frações principais obtidas na moagem. ....	6
<b>Tabela 3</b>	Uma classificação nutricional do amido .....	9
<b>Tabela 4</b>	Propriedades funcionais da LBG .....	14
<b>Tabela 5</b>	Formulação básica utilizada para a produção dos pães .....	32
<b>Tabela 6</b>	Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2 <sup>3</sup> .....	33
<b>Tabela 7</b>	Matriz do planejamento experimental para a adição das diferentes fontes de fibra alimentar na formulação dos pães.....	33
<b>Tabela 8</b>	Composição da farinha de trigo.....	42
<b>Tabela 9</b>	Distribuição percentual do tamanho de partículas da farinha de trigo.....	43
<b>Tabela 10</b>	Teores de glúten úmido e seco e índice de glúten da farinha de trigo.....	45
<b>Tabela 11</b>	Parâmetros farinográficos da farinha de trigo.....	46
<b>Tabela 12</b>	Parâmetros extensográficos da farinha de trigo.....	47
<b>Tabela 13</b>	Umidade das fontes de fibra alimentar.....	48
<b>Tabela 14</b>	Distribuição percentual do tamanho de partículas das fontes de fibra.....	49
<b>Tabela 15</b>	Índices de absorção de água e de solubilidade em água das fontes de fibra alimentar.....	51
<b>Tabela 16</b>	Fibra alimentar total das fontes de fibra alimentar.....	53
<b>Tabela 17</b>	Absorção de água e propriedades de mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	55
<b>Tabela 18</b>	Coeficientes de regressão para a resposta absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	58
<b>Tabela 19</b>	ANOVA para a resposta absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	59

<b>Tabela 20</b>	Coeficientes de regressão para a resposta tempo de chegada das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar..	63
<b>Tabela 21</b>	ANOVA para a resposta tempo de chegada das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.....	64
<b>Tabela 22</b>	Coeficientes de regressão para a resposta tempo de desenvolvimento da massa das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.....	68
<b>Tabela 23</b>	ANOVA para a resposta tempo de desenvolvimento da massa das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	69
<b>Tabela 24</b>	Coeficientes de regressão para a resposta tempo de saída das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.....	73
<b>Tabela 25</b>	Coeficientes de regressão para a resposta estabilidade das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.....	74
<b>Tabela 26</b>	Coeficientes de regressão para a resposta índice de tolerância à mistura das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.....	76
<b>Tabela 27</b>	ANOVA para a resposta índice de tolerância à mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.....	77
<b>Tabela 28</b>	Tempo de mistura rápida e tempo de fermentação na produção dos pães.....	80
<b>Tabela 29</b>	Coeficientes de regressão para a resposta tempo de mistura rápida na produção dos pães.....	82
<b>Tabela 30</b>	ANOVA para a resposta tempo de mistura rápida na produção dos pães.....	83
<b>Tabela 31</b>	Coeficientes de regressão para a resposta tempo de fermentação na produção dos pães.....	86
<b>Tabela 32</b>	Volume dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	90
<b>Tabela 33</b>	Peso dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	91
<b>Tabela 34</b>	Volume específico dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	92
<b>Tabela 35</b>	Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães convencionais.....	93

<b>Tabela 36</b>	Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	94
<b>Tabela 37</b>	Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	94
<b>Tabela 38</b>	ANOVA para a resposta volume específico dos pães convencionais.....	95
<b>Tabela 39</b>	Média do volume, peso e volume específico dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	101
<b>Tabela 40</b>	Colapso da estrutura dos pães pré-assados.....	103
<b>Tabela 41</b>	Coeficientes de regressão para a resposta colapso da estrutura dos pães pré-assados.....	104
<b>Tabela 42</b>	ANOVA para a resposta colapso da estrutura dos pães pré-assados.....	105
<b>Tabela 43</b>	Luminosidade da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	110
<b>Tabela 44</b>	Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade da crosta dos pães convencionais.....	112
<b>Tabela 45</b>	Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	112
<b>Tabela 46</b>	Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	113
<b>Tabela 47</b>	ANOVA para a resposta luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	113
<b>Tabela 48</b>	Croma da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	117
<b>Tabela 49</b>	Coeficientes de regressão para a resposta croma da crosta dos pães convencionais.....	118
<b>Tabela 50</b>	Coeficientes de regressão para a resposta croma da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	119

<b>Tabela 51</b>	Coeficientes de regressão para a resposta cor da crosta dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	119
<b>Tabela 52</b>	ANOVA para a resposta cor da crosta dos pães convencionais.....	120
<b>Tabela 53</b>	ANOVA para a resposta cor da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	120
<b>Tabela 54</b>	Ângulo de tonalidade da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	125
<b>Tabela 55</b>	Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade da crosta dos pães convencionais.....	127
<b>Tabela 56</b>	Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	127
<b>Tabela 57</b>	Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	128
<b>Tabela 58</b>	ANOVA para a resposta ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	128
<b>Tabela 59</b>	Luminosidade do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	132
<b>Tabela 60</b>	Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade do miolo dos pães convencionais.....	133
<b>Tabela 61</b>	Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	134
<b>Tabela 62</b>	Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	134
<b>Tabela 63</b>	ANOVA para a resposta luminosidade do miolo dos pães convencionais.....	135
<b>Tabela 64</b>	ANOVA para a resposta luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	136

<b>Tabela 65</b>	ANOVA para a resposta luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	136
<b>Tabela 66</b>	Croma do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	143
<b>Tabela 67</b>	Coeficientes de regressão para a resposta croma do miolo dos pães convencionais.....	144
<b>Tabela 68</b>	Coeficientes de regressão para a resposta croma do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	145
<b>Tabela 69</b>	Coeficientes de regressão para a resposta croma do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	145
<b>Tabela 70</b>	ANOVA para a resposta croma do miolo dos pães convencionais.....	146
<b>Tabela 71</b>	ANOVA para a resposta croma do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	146
<b>Tabela 72</b>	Ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	151
<b>Tabela 73</b>	Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais.....	152
<b>Tabela 74</b>	Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	153
<b>Tabela 75</b>	Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	153
<b>Tabela 76</b>	ANOVA para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais.....	154
<b>Tabela 77</b>	ANOVA para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	155
<b>Tabela 78</b>	ANOVA para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	155

<b>Tabela 79</b>	Média dos parâmetros de cor instrumental dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	161
<b>Tabela 80</b>	Escore da aceitação da cor da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	165
<b>Tabela 81</b>	Coefficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor da crosta dos pães convencionais.....	167
<b>Tabela 82</b>	Coefficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	167
<b>Tabela 83</b>	Coefficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor da crosta dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	168
<b>Tabela 84</b>	Escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	169
<b>Tabela 85</b>	Coefficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais.....	170
<b>Tabela 86</b>	Coefficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	171
<b>Tabela 87</b>	Coefficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	171
<b>Tabela 88</b>	ANOVA para a resposta escore da cor do miolo dos pães convencionais.....	172
<b>Tabela 89</b>	ANOVA para a resposta escore da cor do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	172
<b>Tabela 90</b>	ANOVA para a resposta escore da cor do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	173
<b>Tabela 91</b>	Escore da aceitação da aparência da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	181
<b>Tabela 92</b>	Coefficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência da crosta dos pães convencionais.....	183

<b>Tabela 93</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência da crosta dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	183
<b>Tabela 94</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência da crosta dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	184
<b>Tabela 95</b>	Escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	185
<b>Tabela 96</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais.....	186
<b>Tabela 97</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	187
<b>Tabela 98</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	187
<b>Tabela 99</b>	ANOVA para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais.....	188
<b>Tabela 100</b>	ANOVA para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	188
<b>Tabela 101</b>	ANOVA para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	189
<b>Tabela 102</b>	Escore da aceitação do aroma dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	197
<b>Tabela 103</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do aroma dos pães convencionais.	199
<b>Tabela 104</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do aroma dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	200
<b>Tabela 105</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do aroma dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	200

<b>Tabela 106</b>	Escore da aceitação do sabor dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	201
<b>Tabela 107</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do sabor dos pães convencionais.....	203
<b>Tabela 108</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do sabor dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	204
<b>Tabela 109</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do sabor dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	204
<b>Tabela 110</b>	Escore da aceitação da textura dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	205
<b>Tabela 111</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da textura dos pães convencionais.....	206
<b>Tabela 112</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da textura dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	207
<b>Tabela 113</b>	Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da textura dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	207
<b>Tabela 114</b>	ANOVA para a resposta escore da aceitação da textura dos pães convencionais.....	208
<b>Tabela 115</b>	ANOVA para a resposta escore da aceitação da textura dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	208
<b>Tabela 116</b>	Média dos escores dos atributos do teste de aceitação dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	214
<b>Tabela 117</b>	Porcentagem de provadores com intenção de compra certamente compraria e provavelmente compraria dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	218
<b>Tabela 118</b>	Coeficientes de regressão para a resposta intenção de compra dos pães convencionais.....	219
<b>Tabela 119</b>	Coeficientes de regressão para a resposta intenção de compra dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.....	219

<b>Tabela 120</b>	Coeficientes de regressão para a resposta intenção de compra dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	220
<b>Tabela 121</b>	ANOVA para a resposta intenção de compra dos pães convencionais.....	221
<b>Tabela 122</b>	Umidade dos pães convencionais após um, quatro e sete dias do forneamento e a redução da umidade em relação ao primeiro dia após o forneamento.....	226
<b>Tabela 123</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães convencionais após um dia do forneamento.....	227
<b>Tabela 124</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães convencionais após quatro dias do forneamento.....	227
<b>Tabela 125</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães convencionais após sete dias do forneamento.....	228
<b>Tabela 126</b>	ANOVA para a resposta umidade dos pães convencionais após um dia do forneamento.....	229
<b>Tabela 127</b>	ANOVA para a resposta umidade dos pães convencionais após quatro dias do forneamento.....	229
<b>Tabela 128</b>	ANOVA para a resposta umidade dos pães convencionais após sete dias de forneamento.....	229
<b>Tabela 129</b>	Umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um, quatro e sete dias do forneamento e a redução da umidade em relação ao primeiro dia após o forneamento.....	237
<b>Tabela 130</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.....	238
<b>Tabela 131</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.....	239
<b>Tabela 132</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.....	239
<b>Tabela 133</b>	ANOVA para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.....	240

<b>Tabela 134</b>	ANOVA para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.....	241
<b>Tabela 135</b>	ANOVA para a resposta umidade dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.....	241
<b>Tabela 136</b>	Umidade do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um, quatro e sete dias do forneamento e a redução da umidade em relação ao primeiro dia após o forneamento.....	249
<b>Tabela 137</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.....	250
<b>Tabela 138</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.....	250
<b>Tabela 139</b>	Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.....	251
<b>Tabela 140</b>	Média da umidade do miolo ao longo da vida de prateleira dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	252
<b>Tabela 141</b>	Dureza dos pães convencionais após um, quatro e sete dias do forneamento e o aumento da dureza em relação ao primeiro dia após o forneamento.....	254
<b>Tabela 142</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães convencionais após um dia do forneamento.....	255
<b>Tabela 143</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães convencionais após quatro dias do forneamento.....	256
<b>Tabela 144</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães convencionais após sete dias do forneamento.....	256
<b>Tabela 145</b>	Dureza dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um, quatro e sete dias do forneamento e o aumento da dureza em relação ao primeiro dia após o forneamento.....	259
<b>Tabela 146</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.....	260

<b>Tabela 147</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.....	261
<b>Tabela 148</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.....	261
<b>Tabela 149</b>	Dureza dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um, quatro e sete dias do forneamento e o aumento da dureza em relação ao primeiro dia após o forneamento.....	263
<b>Tabela 150</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.....	264
<b>Tabela 151</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.....	264
<b>Tabela 152</b>	Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.....	265
<b>Tabela 153</b>	Coeficientes de correlação (r) entre a dureza dos pães e o volume e volume específico dos pães.....	266
<b>Tabela 154</b>	Média da dureza ao longo da vida de prateleira dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.....	267
<b>Tabela 155</b>	Cálculo teórico do teor de fibra alimentar total e da porcentagem do valor diário fornecida pelos pães.....	270



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
2.1. Fibra alimentar .....	3
2.1.1. Farelo de trigo .....	5
2.1.2. Amido resistente .....	8
2.1.2. <i>Locust bean gum</i> (LBG) .....	11
2.2. Pães pré-assados .....	15
2.2.1. Formulação .....	16
2.2.2. Processo .....	17
2.2.2.1. Pré-assamento .....	18
2.2.2.2. Resfriamento .....	19
2.2.2.3. Estocagem .....	19
2.2.2.4. Reassamento .....	21
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
3.1. Material .....	23
3.1.1. Ingredientes e aditivos .....	23
3.1.2. Equipamentos e afins .....	24
3.2. Métodos .....	28
3.2.1. Caracterização das matérias-primas .....	28
3.2.1.1. Farinha de trigo .....	28
3.2.1.1.1. Composição centesimal .....	28
3.2.1.1.2. Granulometria .....	28
3.2.1.1.3. Teores e índice de glúten .....	29
3.2.1.1.4. Atividade diastática .....	29
3.2.1.1.5. Absorção de água e propriedades de mistura .....	29
3.2.1.1.6. Propriedades de extensão .....	30
3.2.1.2. Fontes de fibra alimentar .....	30
3.2.1.2.1. Umidade .....	30
3.2.1.2.2. Granulometria .....	30
3.2.1.2.3. Índices de absorção de água e índice de solubilidade em água .....	31

3.2.1.2.4. Fibra alimentar total .....	31
3.2.1.3. Combinações de farinha e fontes de fibra alimentar .....	31
3.2.2. Produção dos pães .....	32
3.2.2.1. Formulação .....	32
3.2.2.2. Procedimento para elaboração dos pães convencionais .....	34
3.2.2.3. Procedimento para elaboração dos pães pré-assados .....	34
3.2.2.3.1. Pré-assamento e resfriamento .....	34
3.2.2.3.2. Congelamento .....	36
3.2.2.3.2.1. Cinética da câmara de congelamento .....	36
3.2.2.3.3. Estocagem .....	37
3.2.2.3.4. Reassamento .....	37
3.2.3. Avaliação das características de qualidade dos pães .....	38
3.2.3.1. Volume específico .....	38
3.2.3.2. Cor instrumental da crosta e do miolo .....	38
3.2.3.3. Avaliação sensorial .....	39
3.2.3.4. Avaliação da vida de prateleira .....	39
3.2.3.4.1. Umidade do miolo .....	40
3.2.3.4.2. Dureza .....	40
3.2.3.5. Fibra alimentar total .....	40
3.2.4. Análise dos resultados .....	41
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
4.1. Caracterização das matérias-primas .....	42
4.1.1. Farinha de trigo .....	42
4.1.1.1. Composição centesimal .....	42
4.1.1.2. Granulometria .....	43
4.1.1.3. Teores e índice de glúten .....	44
4.1.1.4. Atividade diastática .....	45
4.1.1.5. Absorção de água e propriedades de mistura .....	46
4.1.1.6. Propriedades de extensão .....	46
4.1.2. Fontes de fibra alimentar .....	47
4.1.2.1. Umidade .....	47
4.1.2.2. Granulometria .....	48
4.1.2.3. Índices de absorção de água e índice de solubilidade em água .....	50

4.1.2.4. Fibra alimentar total .....	52
4.1.3. Combinações de farinha e fontes de fibra alimentar .....	54
4.1.3.1. Absorção de água .....	56
4.1.3.2. Tempo de chegada .....	62
4.1.3.3. Tempo de desenvolvimento da massa .....	66
4.1.3.4. Tempo de saída .....	72
4.1.3.5. Estabilidade .....	73
4.1.3.6. Índice de tolerância à mistura .....	75
4.2. Produção dos pães .....	80
4.2.1. Tempo de mistura rápida .....	81
4.2.2. Tempo de fermentação .....	85
4.2.3. Congelamento .....	87
4.3. Avaliação das características de qualidade dos pães .....	90
4.3.1. Volume específico e colapso da estrutura .....	90
4.3.2. Cor instrumental da crosta e do miolo .....	108
4.3.2.1. Cor instrumental da crosta .....	109
4.3.2.1.1. Luminosidade (L*) da crosta .....	109
4.3.2.1.2. Cromo (C*) da crosta .....	117
4.3.2.1.3. Ângulo de tonalidade (h) da crosta .....	125
4.3.2.2. Cor instrumental do miolo .....	131
4.3.2.2.1. Luminosidade (L*) do miolo .....	131
4.3.2.2.2. Cromo (C*) do miolo .....	143
4.3.2.2.3. Ângulo de tonalidade (h) do miolo .....	151
4.3.3. Análise sensorial .....	162
4.3.3.1. Perfil de consumo dos provadores .....	162
4.3.3.2. Teste de aceitação .....	164
4.3.3.2.1. Aceitação da cor da crosta .....	164
4.3.3.2.2. Aceitação da cor do miolo .....	168
4.3.3.2.3. Aceitação da aparência da crosta .....	180
4.3.3.2.4. Aceitação da aparência do miolo .....	184
4.3.3.2.5. Aceitação do aroma .....	196
4.3.3.2.6. Aceitação do sabor .....	201
4.3.3.2.7. Aceitação da textura .....	205
4.3.3.3. Intenção de compra .....	216

4.3.4. Avaliação da vida de prateleira dos pães .....	224
4.3.4.1. Umidade do miolo .....	224
4.3.4.1.1. Pães convencionais .....	224
4.3.4.1.2. Pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados ....	236
4.3.4.1.3. Pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados ....	248
4.3.4.2. Dureza .....	253
4.3.4.2.1. Pães convencionais .....	253
4.3.4.2.2. Pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados ....	258
4.3.4.2.3. Pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados ....	262
4.3.4.2.4. Considerações sobre a análise de textura .....	268
4.3.5. Fibra alimentar total .....	269
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>273</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>277</b>
<b>ANEXOS</b>	
Anexo A: Ficha de avaliação sensorial .....	295
Anexo BA: Farinogramas .....	296
Anexo BB: Farinogramas .....	297
Anexo BC: Farinogramas .....	298
Anexo BD: Farinogramas .....	299
Anexo BE: Farinogramas .....	300
Anexo C: Cinética da câmara do congelamento .....	301
Anexo DA: Curvas de congelamento .....	302
Anexo DB: Curvas de congelamento .....	303
Anexo DC: Curvas de congelamento .....	304
Anexo DD: Curvas de congelamento .....	305
Anexo DE: Curvas de congelamento .....	306
Anexo EA: Resultados da análise do perfil de textura dos pães .....	307
Anexo EB: Resultados da análise do perfil de textura dos pães .....	308
Anexo EC: Resultados da análise do perfil de textura dos pães .....	309
Anexo ED: Resultados da análise do perfil de textura dos pães.....	310
Anexo EE: Resultados da análise do perfil de textura dos pães .....	311

Anexo EF: Resultados da análise do perfil de textura dos pães.....	312
Anexo EG: Resultados da análise do perfil de textura dos pães .....	313
Anexo EH: Resultados da análise do perfil de textura dos pães.....	314
Anexo EI: Resultados da análise do perfil de textura dos pães .....	315
ANEXO FA: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	316
ANEXO FB: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	317
ANEXO FC: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	318
ANEXO FD: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	319
ANEXO FE: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	320
ANEXO FF: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	321
ANEXO FG: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	322
ANEXO FH: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	323
ANEXO FI: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	324
ANEXO FJ: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	325
ANEXO FK: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	326
ANEXO FL: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	327
ANEXO FM: Valores experimentais, previstos pelo modelo e desvios relativos .....	328



## 1. INTRODUÇÃO

A divulgação da importância da fibra alimentar na nutrição, junto com a recomendação do aumento de seu consumo, tem levado a indústria alimentícia ao desenvolvimento de novos alimentos e preparados alimentares enriquecidos com fibras. Uma maior ingestão de fibra alimentar pode realizar-se através de alimentos naturais e processados de origem vegetal (frutas, cereais, verduras, legumes, etc.) ou enriquecidos com fibras (biscoitos, cereais matinais, pães, produtos lácteos, etc.), assim como através de suplementos alimentares ou farmacêuticos (tabletes, granulados, cápsulas, etc.) (LAJOLO *et al.*, 2001).

A estimativa de ingestão média de fibra alimentar e amido resistente pela população brasileira, calculada com base nos dados de aquisição de alimentos contidos em pesquisas da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de seis regiões metropolitanas e em três décadas, mostrou uma queda significativa na ingestão de ambos. Na década de 70, a ingestão média da fibra alimentar era de 19,3 g/dia, caindo para 16,0 g/dia na década de 80 e chegando a 12,4 g/dia na década de 90. Já para o amido resistente, a ingestão média variou de 5,0 g/dia para 3,4 g/dia neste mesmo período. É possível que este perfil seja decorrente de modificações nos hábitos alimentares da população, aliados a mudanças no estilo de vida em função de alterações no perfil sócio-econômico do país. A redução na ingestão de fibra alimentar foi mais acentuada nas regiões com relevante grau de industrialização, como as de São Paulo e Rio Grande do Sul (LAJOLO *et al.*, 2001). Levando em consideração o valor diário de referência (VDR) para a fibra alimentar de 25 g indicado pela Anvisa (BRASIL, 2003 b), os dados relatados pela pesquisa encontram-se bastante baixos.

Por outro lado, o consumo de pães congelados está crescendo no Brasil. Presente no país há poucos anos, ao contrário do que ocorre em países europeus, onde já se tornou hábito o consumo desse tipo de produto (chega a representar 20% do mercado de pães nessa região), esta tendência vem satisfazendo, principalmente, aos supermercados, que necessitam de apenas um *freezer* e um

forno para que o pão esteja pronto para comercialização. Contudo, as padarias estão aderindo, também, a essa nova tendência, e algumas já estão terceirizando a produção, ou organizando centrais de produção, para reduzir custos, podendo, com isso, utilizar o espaço, antes ocupado por fornos e máquinas, para atender melhor a clientela e expor mais adequadamente as suas mercadorias, agregando benefícios e tirando proveito das ocasiões de compra do consumidor (BNDES, 2004).

Na literatura científica, encontram-se trabalhos que estudam isoladamente aspectos relacionados tanto aos pães pré-assados congelados como aos pães adicionados de fibras, no entanto, existem poucos trabalhos que relacionam estes dois aspectos. Logo, com o intuito de oferecer produtos com melhor qualidade nutricional à população, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da adição de diferentes fontes de fibra alimentar em pão pré-assado congelado, visando avaliar a viabilidade tecnológica deste produto.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Fibra Alimentar**

Nos últimos anos, a fibra alimentar tem se tornado um assunto de considerável interesse público devido aos seus conhecidos efeitos benéficos fisiológicos e metabólicos (BASMAN; KÖKSEL, 1999). Ela é definida como a parte comestível de plantas ou carboidratos análogos que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano, com fermentação completa ou parcial no intestino grosso (AACC, 2001).

As fibras são classificadas de diversas maneiras, dependendo dos fatores que são enfatizados (Tabela 1). Os nutricionistas classificam as fibras em frações hidrossolúveis e não-hidrossolúveis. Recentemente, o conceito de fibras foi ampliado de modo a incluir substâncias semelhantes a elas, como inulina, fruto-oligossacarídeos e amido resistente. Assim, as fibras contêm diversos compostos com diferentes propriedades físicas e químicas, sendo que tipos específicos de fibras podem proporcionar benefícios específicos para a saúde (NESTLÉ, 2004).

**Tabela 1:** Classificação das fibras.

Fibras	Lignina		Não hidrossolúveis ("fibras insolúveis")
	Polissacarídeos "não-amiláceos"	Celulose	
		Hemicelulose (tipo B)	
		Hemicelulose (tipo A)	
	Pectinas	Hidrossolúveis ("fibras solúveis")	
	Gomas		
	Mucilagens		
	Outros polissacarídeos		
Substâncias semelhantes às fibras	Inulina		Hidrossolúveis em sua maioria
	Frutooligossacarídeos		
	Amido resistente		
	Açúcares não absorvidos		

Fonte: NESTLÉ (2004).

Estudos experimentais examinando os efeitos fisiológicos de vários tipos de fibras e de substâncias semelhantes a elas tem sido conduzidos. Os efeitos relatados variam desde a modulação da função gastrintestinal e morfologia a alterações do metabolismo de nutrientes e aumento das respostas imunológicas. Alguns destes efeitos resultam das ações mecânicas das fibras no trato alimentar. Outros derivam da interação das fibras com a água, minerais e compostos orgânicos no quimo intestinal. Muitos efeitos adicionais são conseqüências da fermentação no cólon, que influenciam na ecologia intestinal e geram produtos finais fisiologicamente ativos (NESTLÉ, 2004).

O Departamento de saúde e serviços humanos (HHS) e o Departamento de Agricultura (USDA) dos Estados Unidos da América recomendam uma ingestão diária de 35 g de fibra alimentar para uma dieta de 2.500 Kcal (HHS; USDA, 2005). No Brasil, a Anvisa declara como 25 g o valor diário de referência (VDR) para a fibra alimentar (BRASIL, 2003 b).

A legislação brasileira estabelece que o alimento sólido para ser considerado fonte de fibra alimentar deve possuir no mínimo 3 g de fibras por 100 g do produto e para ser considerado um alimento com alto teor deve possuir no mínimo 6 g de fibras por 100 g do produto (BRASIL, 1998).

A adição de fibra em alimentos pode alterar a consistência, textura, comportamento reológico e características sensoriais do produto final. Por causa disso, recentemente, seu uso em grandes quantidades tem sido limitada. Novas oportunidades em relação ao seu uso na indústria de alimentos têm sido oferecidas devido ao surgimento de novas fontes de fibras, melhor entendimento e aperfeiçoamento de todos os parâmetros que melhoram a aceitação no processamento e pelo consumidor (GUILLON; CHAMP, 2000).

### **2.1.1. Farelo de Trigo**

O pericarpo e os tecidos mais externos da semente do trigo, incluindo grandes porções da camada de aleurona, compõem o farelo (POSNER e HIBBS, 1999). A relação entre os constituintes botânicos e os produtos obtidos da moagem do trigo é mostrada na Tabela 2. Deve ser notado que a relação mostrada é ideal, pois na prática, é inevitável a contaminação mútua entre as frações (POMERANZ, 1988). O farelo é obtido em rendimentos de aproximadamente 15% na moagem do trigo (CORNELL; HOVELING, 1998).

O farelo tem um conteúdo protéico similar ao do trigo, embora suas proteínas não sejam de boa qualidade para panificação. Possui um conteúdo maior de cinzas, lipídeos, e particularmente pentosanas. O conteúdo de amido do farelo está normalmente em torno de 12-15%. O farelo de trigo não é rico em  $\beta$ -glucanas como o farelo de aveia, mas possui alto teor de fibra alimentar (aproximadamente 45%) (CORNELL; HOVELING, 1998). Ele é uma boa fonte de proteínas de alto valor biológico e também uma rica fonte de vitaminas do grupo B e minerais (RAO; RAO, 1991).

**Tabela 2:** Relação ideal entre os constituintes botânicos do trigo e as frações principais obtidas na moagem.

Componentes do grão	Frações da moagem
<b>1. Pericarpo (envoltório do fruto)</b> <b>a. Pericarpo externo</b> Epiderme externa (epicarpo) Hipoderme Células remanescentes das paredes finas <b>b. Pericarpo interno</b> Células intermediárias Células cruzadas Células tubo (epiderme interna)	"Beeswing"  Farelo de trigo
<b>2. Semente</b> <b>a. Envoltório da semente (testa) e filamento de pigmento</b> <b>b. Epiderme nucelar (camada hialina)</b> <b>c. Endosperma</b> Camada de aleurona Endosperma amiláceo	
<b>d. Embrião</b> Eixo embrionário Escutelo (cotilédone)	Germe

Fonte: POMERANZ (1988).

De acordo com Sidhu, Al-Hooti e Al-Saqer (1999), a farinha branca é uma fonte pobre de fibra alimentícia porque a fração farelo, tendo um conteúdo mais alto de fibra alimentar total, é removida durante o processo de moagem. O conteúdo de fibra alimentar total do farelo de trigo varia entre 40 e 44%, o que o faz um suplemento natural ideal para a produção de produtos forneados de alto teor de fibras.

Os efeitos químicos e físicos da adição do farelo de trigo em produtos de panificação têm sido vastamente estudados. Aspectos relacionados à origem e classe do trigo, tamanho da partícula, bem como tratamentos pré-adição têm motivado a realização de inúmeras pesquisas (AL-SAQER; SIDHU; AL-HOOTI,

2000; BASMAN; KÖKSEL, 1999, 2001; FINNEY; HENRY; JEFFERS, 1985; GOMÉZ *et al.*, 2003; KOCK; TAYLOR; TAYLOR, 1999; LAI; DAVIS; HOSENEY, 1989; LAI; HOSENEY; DAVIS, 1989; MONGEAU; BRASSARD, 1982; NELLES, RANDALL; TAYLOR, 1998; POSNER, 1991; SALMENKALLIO-MARTTILA; KATINA; AUTIO, 2001; SHENOY; PRAKASH, 2002; SIDHU; AL-HOOTI; AL-SAQER, 1999; WOOTTON; SHAMS-UD-DIN, 1986; ZHANG; MOORE, 1997, 1999).

O farelo de trigo, em relação a outras fontes de fibra, tem vantagem de não fornecer gosto estranho ao pão (RAO; RAO, 1991). Um grande número de pesquisadores tem estudado o uso desta fonte de fibra em panificação em níveis variando entre 1 e 30% (AL-SAQER; SIDHU; AL-HOOTI, 2000).

Pomeranz, Shogren e Finney (1976) e Pomeranz *et al.* (1977) concluíram que o farelo de trigo, em quantidades em torno de 7%, pode ser adicionado à farinha de trigo sem modificações marcantes em seus parâmetros de processo de fabricação do pão (isto é, absorção de água e tempo de mistura) ou nas características do produto (pão de forma).

Sidhu, Al-Hooti e Al-Saqer (1999) encontraram que a adição de 20% de farelo fino ou grosseiro à farinha de trigo forneceu aos pães (*toast bread*) um aumento do conteúdo de fibra alimentar total maior do que o conteúdo do pão controle feito com farinha de trigo integral e concluíram que pão de alto teor de fibra de boa qualidade pode ser produzido usando este nível de adição de farelo.

Rao e Rao (1991) constataram que o nível máximo de farelo que poderia ser usado para obter um pão com qualidades aceitáveis seria 30%.

De acordo com estudos que utilizaram 15% de farelo de trigo e outras fibras na massa de pão, o nível usual de suplementação de fibras deve ser mantido inferior a 20%, por peso, uma vez que a qualidade do produto começa a deteriorar acima de 10% de adição e torna-se inaceitável acima de 20% (NAVICKIS; NELSEN, 1992).

### **2.1.2. Amido Resistente**

A importância do amido na dieta e seu potencial para contribuir de várias maneiras positivas para a saúde humana e o bem estar foram vastamente relatados durante a década passada. Uma área de interesse identificada foi aquela em que o amido quando consumido resistia à digestão enzimática e atuava como uma fibra alimentar. O amido resistente é definido pela EURESTA (European Food-Linked Agro-Industrial Research - Concert Action on Resistant Starch, 1991) como “a soma do amido e dos produtos de degradação do amido que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis” (BROWN; MC NAUGHT; MOLONEY, 1995). Englyst *et al.* (1996) classificaram as frações do amido que se diferenciam quanto a susceptibilidade à digestão e propuseram três tipos de amidos resistentes: RS1, RS2 e RS3 (Tabela 3). Porém, recentemente, alguns trabalhos mencionam a categoria IV (RS4) em referência a alguns amidos modificados (BROUNS; KETTLITZ; ARRIGONI, 2002).

**Tabela 3:** Uma classificação nutricional do amido.

Tipo de amido	Exemplos de ocorrência	Provável digestão no intestino delgado humano
Amido rapidamente digerido	Alimentos amiláceos frescos cozidos	Rápida, completa
Amido lentamente digerido	Maioria dos cereais crus	Lenta, mas completa
Amido resistente		
1. Amido fisicamente inacessível (RS1)	Grãos e sementes parcialmente moídos	Resistente
2. Grânulos de amido resistente (RS2)	Banana e batata crus	Resistente
3. Amido retrogradado (RS3)	Batata cozida e resfriada, pão e <i>corn flakes</i>	Resistente
4. Amido quimicamente modificado (RS4)	Éteres e ésteres de amido, amido inter cruzado	Resistente

Fonte: adaptado de ENGLYST *et al.* (1996).

Em pesquisa realizada com variedades de milho australianas, o nível de amilose dos amidos de milho apresentou ter uma relação direta com o nível de amido resistente e fibra alimentar no amido. Assim, o amido de um cultivar forneceu um alto nível de amido resistente/fibra alimentar e o Hi-Maize™ foi lançado em setembro de 1993 pela Minister for Primary Industry, sendo o primeiro amido resistente disponível comercialmente no mundo (BROWN; MC NAUGHT; MOLONEY, 1995). A sua capacidade de não se hidratar e não se gelatinizar completamente quando aquecido a mais que 150°C possibilita a manutenção da estrutura granular do amido sob as condições normais de processamento (BROWN; MC NAUGHT; MOLONEY, 1995).

O amido Novelose 240® (Hi-Maize™ 240), da National Starch, é um dos amidos resistentes granulares (RS2) atualmente desenvolvidos. Comparado às fibras convencionais, ele possui muitos aspectos vantajosos. Ele é branco e tem um sabor suave e partículas finas de tamanho entre 10 - 15 µm. Com um conteúdo de aproximadamente 40% de fibra alimentar total (TDF), este RS2 pode

ser usado isoladamente ou como complemento funcional a outras fontes de fibras e pode ser rotulado simplesmente como “amido de milho”. Um fator importante é que o amido resistente tem uma baixa capacidade de retenção de água comparado a várias fibras tradicionais. Devido a isto, ele absorve menos água e ajustes na formulação e processamento do produto são substancialmente minimizadas. O amido Novelose 260<sup>®</sup> (Hi-Maize<sup>™</sup> 260) é semelhante ao amido Novelose 240<sup>®</sup>, diferenciando-se apenas pelo seu maior conteúdo de fibra alimentar (60% TDF). Para propósito de legislação, estes amidos são quantificados como fibras alimentares, de acordo com os métodos oficiais 985.29 e 991.43 da AOAC (NATIONAL STARCH AND CHEMICAL, 2005; YUE; WARING, 1998).

A suplementação de amido resistente em diversos produtos alimentícios é amplamente realizada na atualidade (VAN-HUNG; MORITA, 2004). Pesquisas de mercado realizadas na Austrália e na Europa indicaram que os consumidores responderam favoravelmente ao aumento dos níveis de amido resistente incluído em alimentos tais como pão, cereal matinal, macarrão e *noodles* (BROWN, 2004).

O amido resistente como ingrediente tem sido usado comercialmente desde 1994. Neste ano, um pão branco com adição amido de milho de alto teor de amilose de foi lançado na Austrália. Devido esta adição, o conteúdo de fibra alimentar do pão foi aumentado de 2,9 para 5,6%, o que permitiu este pão ter a alegação de “conter mais fibra alimentar do que um pão multigrãos”. Depois de 20 semanas do lançamento, ele obteve 12% do mercado do pão branco e aumentou em 8% o mercado desta categoria (BROWN; MC NAUGHT; MOLONEY, 1995).

Eerlingen *et al.* (1994) constataram que foi possível produzir pães com adição de 20% (base farinha) de amido de milho de alto teor de amilose com características sensoriais comparáveis ao pão sem adição.

Em um estudo conduzido pelo *American Institute of Baking* (AIB), o amido Novelose 240<sup>®</sup> foi comparado a várias fibras tradicionais em formulações de massas de pães. Os pães foram suplementados com fibras ou amido resistente para se obter um pão com alto teor de fibras (5 g/ porção de 50 g ou 10% TDF).

Uma mistura de amido resistente e fibra de aveia, com cada um contribuindo com metade do TDF desejado, foi incluída para demonstrar como o amido resistente pode ser usado para complementar outras fontes de fibras. Os pães formulados somente com amido resistente ou com mistura de amido resistente e fibra de aveia foram caracterizados como tendo uma qualidade superior à daqueles produzidos somente com as fibras tradicionais, tanto em termos sensoriais quanto em relação ao volume específico (YUE; WARING, 1998).

Estudos de consumo de alimentos mostram que o consumo de amido resistente tem declinado, sobretudo nas últimas décadas (BROUNS; KETTLITZ; ARRIGONI, 2002). Embora não exista nenhuma recomendação de ingestão de amido resistente, alguns estudos sugerem que a ingestão maior ou igual a 20g de amido resistente por dia seja necessária para que se obtenha alguns dos benefícios relacionados ao intestino (BAGHURST; BAGHURST; RECORD, 1996).

Segundo Liljeberg, Akerberg e Björch (1996), esforços para modificar a ingestão de amido resistente em uma dieta deveriam focalizar uma otimização do conteúdo de amido resistente do pão.

### **2.1.3. *Locust bean gum* (LBG)**

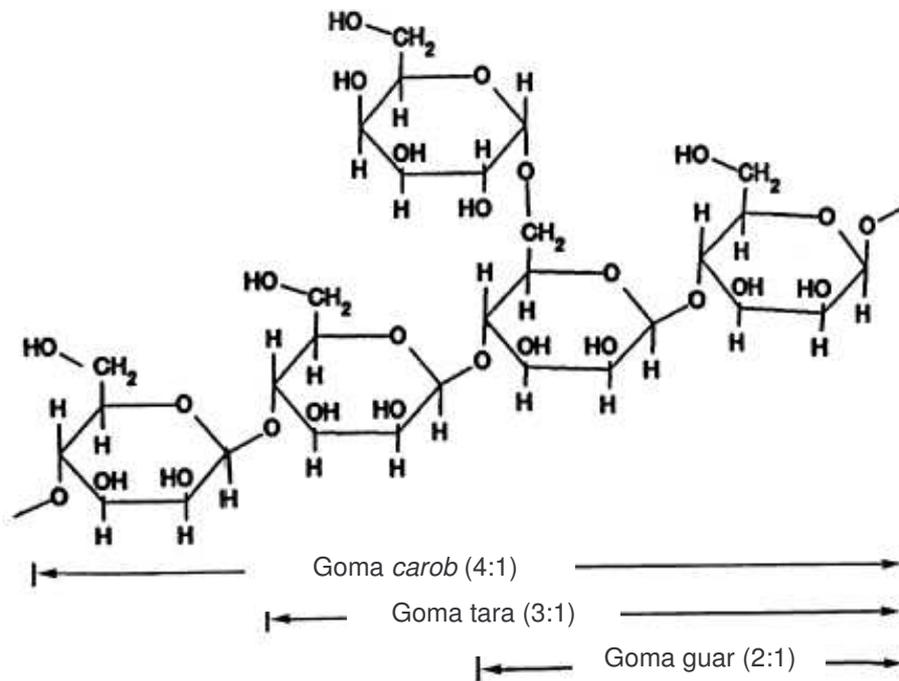
Vários estudos têm sido executados mostrando o uso potencial de hidrocolóides na indústria de panificação (GUARDA *et al.*, 2004). Entretanto, as propriedades dos hidrocolóides na elaboração de pães variam em uma grande extensão dependendo de sua origem e estrutura química (ROJAS; ROSELL; BARBER, 1999).

*Locust bean gum* (LBG), *carob gum*, goma jataí ou goma de alfarroba é o endosperma refinado da semente da árvore carob, uma planta da família das leguminosas, conhecida botanicamente como *Ceratonia siliqua* L. A árvore cresce extensivamente na Espanha, mas é também cultivada em quantidades

significativas na Itália, Chipre, e outros países do Mediterrâneo (MAIER *et al.*, 1993).

A produção industrial de LBG começou na década de 1920 e hoje a goma é vendida em todo o mundo sob uma variedade de marcas comerciais. As vagens de carob são colhidas manualmente. Os grãos são removidos da vagem, as cascas são retiradas, as sementes são desintegradas longitudinalmente e o endosperma é separado do germe. Depois do germe ser isolado, o endosperma é moído, peneirado, classificado, embalado e comercializado como LBG, goma carob, goma jataí ou goma de alfarroba (ANVISA, 1999; NUSSINOVITCH, 1997).

A molécula de LBG é uma cadeia linear de unidades de D-manopiranosil ligadas (1→4), com uma unidade de galactopiranosil substituída no C-6 a cada quatro ou cinco unidades de D-manopiranosil. Estruturalmente, a LBG e a goma guar têm similaridades, com a LBG apresentando um número menor de grupos laterais de D-galactose (HERALD, 1986). Esta menor quantidade de substituições na LBG, é responsável por sua menor solubilidade, por exemplo, quando comparada à goma guar. O peso molecular da LBG tem sido reportado estar entre 300.000 e 360.000 Da (MAIER *et al.*, 1993). A estrutura química comum das diferentes galactomananas é mostrada na Figura 1.



**Figura 1:** Fragmentos estruturais básicos das gomas *carob*, *tara* e *guar*.

Fonte: WIELINGA (2000).

A LBG é levemente solúvel à temperatura ambiente e deve ser aquecida de 75 a 85°C para que sua hidratação seja completada e o desenvolvimento da viscosidade aconteça. A concentrações abaixo de 0,5%, a LBG não exibe nenhum aumento apreciável da viscosidade. Porém, acima deste nível, a viscosidade aumenta exponencialmente. Uma vez que esta goma não é iônica, a viscosidade deste polímero permanece estável em pH entre 3,5 e 11,0. Ela é insolúvel em muitos líquidos orgânicos e é compatível com carboidratos, proteínas e outras gomas de origem vegetal (HERALD, 1986; MAIER *et al.*; 1993; NUSSINOVITCH, 1997).

A LBG por si só não forma géis, mas na presença de outras galactomananas esta possibilidade existe. Sob condições de congelamento/descongelamento, um fraco gel coesivo pode ser formado em

concentrações de aproximadamente 0,5%, o qual se dissocia a temperaturas de 50-55 °C (MAIER *et al.*; 1993; NUSSINOVITCH, 1997).

Embora seja reconhecido que diversas galactomananas interagem sinergicamente com outros polissacarídeos, tais interações são mais pronunciadas com a LBG do que com as gomas tara e guar. De particular importância comercial são as interações da LBG com agar, carragena e xantana (MAIER *et al.*; 1993).

A LBG tem várias propriedades funcionais (Tabela 4). Como um ingrediente alimentício de uso humano, ela é classificada como “geralmente reconhecido como seguro” (GRAS) pela *Food and Drug Administration* (HERALD, 1986). No Brasil, este aditivo é aprovado para as funções espessante e estabilizante para uso em quantidade *quantis satis*, ou seja, quantidade suficiente para obter o efeito desejado (BRASIL, 1999).

**Tabela 4:** Propriedades funcionais da LBG.

Função	Exemplo de uso	Nível de uso (%)
Adesão	Sucos, glacês	0,2–0,5
Agente de ligação	Pet foods	0,2–0,5
Agente de corpo	Bebidas dietéticas	0,2–1,0
Inibidora de cristalização	Sorvete, alimentos congelados	0,1–0,5
Agente de turbidez	Bebidas de frutas	<0,1
Fibra alimentar	Pão, cereais	0,2–0,5
Estabilizadora de espuma	Coberturas aeradas, sorvete	0,1–0,5
Agente geleificante	Pudins, sorvetes, confeitos	0,2–1,0
Agente de moldagem	Balas de goma	0,5–2,0
Colóide protetor	Emulsões de aroma	0,2–0,5
Agente de suspensão	Achocolatado	<0,1
Agente de inchamento	Produtos cárneos processados	0,2–0,5
Agente sinérgico	Queijos, alimentos congelados	0,2–0,5
Agente espessante	Geléias, recheios de tortas, molhos	0,2–0,5

Fonte: WIELINGA (2000).

A LBG é usada na produção de pães, bolos, biscoitos e outros produtos forneados. A habitual função das gomas é controlar a absorção de água e a reologia da massa dos produtos (MAIER *et al.*, 1993).

Farinhas suplementadas com LBG produzem massas de pão com propriedades constantes, com um aumento nas características de ligação à água. Desta forma, o rendimento é melhorado e o produto forneado permanece macio e palatável por um longo período (HERALD, 1986).

Em estudos realizados por Sharadanant e Khan (2003 a, b), a LBG, em níveis de 1 a 3%, mostrou ser a melhor goma hidrofílica entre as demais avaliadas (carboximetilcelulose, goma arábica,  $\kappa$ -carragena) na melhoria da qualidade da massa de pão congelada e das características dos pães obtidos destas massas.

Wang, Rosell e Barber (2002) consideraram a LBG como um produto com características potencialmente promissoras no desenvolvimento de pão enriquecido de fibras, com o intuito de aumentar a ingestão diária desta substância.

Avaliações objetivas e sensoriais indicaram que a substituição de 2 e 4% de LBG na farinha produziu pães com características aceitáveis comparados ao sem adição, sendo possível seu uso em pesquisas futuras (SCHAWARZLAFF *et al.*, 1996).

## **2.2. Pães pré-assados**

O maior desafio da panificação sempre foi o mesmo: como preservar aquelas qualidades especiais de aroma, gosto e textura do produto que acabou de sair do forno. A extensão da vida de prateleira dos pães tem sido alcançada através da aplicação de estratégias adequadas de anti-envelhecimento (CAUVAIN, 2001). A utilização de aditivos e coadjuvantes como enzimas, emulsificantes e conservantes na formulação tem sido uma destas estratégias. No entanto, novas tecnologias que utilizam como fundamento a interrupção do

processo de fabricação também têm tido êxito quando se trata de suprir a demanda de pães frescos ao consumidor.

O processo de obtenção de pães pré-assados é uma destas tecnologias. O processo consiste em fabricar o pão de maneira parecida à convencional, porém, na etapa de forneamento, o produto é assado até um certo ponto, ao invés de ser assado completamente e, após esta etapa, ele é estocado e posteriormente reassado. Devido à possibilidade do retardamento desta última etapa de reassamento é que é dito que o processo proporciona um produto fresco. Ela pode ser realizada em algum ponto de venda ou na própria casa do consumidor momentos antes do consumo.

### **2.2.1. Formulação**

Algumas adaptações na formulação dos pães pré-assados devem ser realizadas para a obtenção de um bom resultado. De acordo com Sluimer (2005), uma farinha de força moderada deve ser utilizada para que o produto final não tenha um volume específico muito alto e tenda a colapsar-se. A adição de emulsificantes que atuam melhorando a textura do pão também é aconselhável. Devido o pão passar por dois estágios de assamento, a água deve ser adicionada em uma quantidade maior do que a usual. No entanto, para que a massa consiga incorporar esta quantidade a mais de água, substâncias que a retêm, como os hidrocolóides, podem ser adicionadas

Carr e Tadini (2003) verificaram que adições maiores de levedura e de gordura vegetal promoveram, respectivamente, maior volume específico e menor firmeza do pão francês pré-assado reassado.

A adição de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) à formulação de pães pré-assados em estudo realizado por Bárcenas e Rosell (2006) resultaram em produtos reassados com melhores qualidades e com menor taxa de envelhecimento do miolo, sem que os atributos sensoriais fossem afetados. O

HPMC teve um efeito protetor contra o dano promovido pelo congelamento e estocagem congelada devido a uma íntima interação entre as cadeias de HPMC e os constituintes do miolo do pão (BÁRCENAS; ROSELL, 2006).

### 2.2.2. Processo

A tecnologia de pães pré-assados, em princípio, não difere muito da tecnologia tradicional, uma vez o produto passa, antes da estocagem, por todas as transformações necessárias para transformar a massa em pão (FIK; SURÓWKA, 2002). A técnica utiliza as mesmas etapas de mistura, fermentação intermediária e make-up (BAKING BUSINESS, 2005). Porém, o tempo entre o final da mistura e o começo da moldagem é freqüentemente mais curto do que o do empregado no método direto. Além disso, a intensidade e o grau de mistura devem ser adaptados. Misturadores de baixa velocidade são freqüentemente utilizados (SLUIMER, 2005).

Há divergências na literatura com relação ao tempo de fermentação final. De acordo com Sluimer (2005), usualmente o tempo de fermentação final é o mesmo do que o de um processo convencional, porém, Ferreira, Watanabe e Benassi (1999) verificaram que, na produção de pão francês, esta etapa deveria ser mais curta.

Le Bail *et al.* (2005) constataram que, para minimizar o esfarelamento da crosta de baguetes pré-assadas congeladas e depois reassadas, a fermentação final realizada em condição úmida (umidade relativa entre 90-95%) foi melhor do que em condição seca (umidade relativa 50-55%).

### **2.2.2.1. Pré-assamento**

Como havia sido citado anteriormente, a principal diferença entre os pães completamente assados e os parcialmente assados é como eles são forneados (HILLEBRAND, 2005). De acordo com Paid e Walker (2001), as condições de pré-assamento (temperatura e tempo) tem um grande efeito nas características de qualidade do pão pré-assado.

Na etapa de pré-assamento, o forneamento do pão ocorre até que o miolo esteja formado e a cor da crosta não esteja desenvolvida, ou seja, o processo é finalizado antes que a reação de Maillard ocorra na crosta (BÁRCENAS; ROSELL, 2006; FIK; SURÓWKA, 2002).

As características típicas de um pão pré-assado que o diferencia de um pão usual é a cor pálida da crosta, o alto conteúdo de umidade no miolo, uma crosta fina e um volume específico mais baixo (LEUSCHNER; O'CALLAGHAN; ARENDT, 1997; SLUIMER, 2005). Após o assamento parcial, ou o pré-assamento, o pão já deve apresentar seu tamanho e forma definitivos (FERREIRA; WATANBE; BENASSI, 1999).

Ferreira, Watanabe e Benassi (1999) verificaram que quanto mais alta a temperatura, menor foi o tempo necessário para o pré-assamento do pão francês. Os autores encontraram que, entre as temperaturas estudadas (150, 175 e 200 °C), a temperatura de 200 °C foi definida como sendo a melhor, uma vez que o pré-assamento ocorreu mais rapidamente e os pães assados nesta temperatura apresentaram volume específico igual aos assados a 175 °C e superior aos assados a 150 °C.

O tempo de pré-assamento antes do congelamento dos produtos influencia consideravelmente sua qualidade depois do descongelamento e reassamento. O tempo de pré-assamento ou do assamento total depende muito do tipo, massa e forma do produto, bem como, das condições térmicas no forno (FIK; SURÓWKA, 2002).

Fik e Surówka (2002) verificaram que o tempo ótimo de pré-assamento está entre 74 e 86% do tempo necessário ao seu completo forneamento.

A aplicação de vapor no início do pré-assamento foi considerada benéfica por Le Bail *et al.* (2005), uma vez que minimizou as características de esfarelamento da crosta de baguetes pré-assadas reassadas.

#### **2.2.2.2. Resfriamento**

Le Bail *et al.* (2005) verificaram que o resfriamento após o pré-assamento em condição úmida (umidade relativa entre 90-95%) foi melhor do que em condição seca (umidade relativa 50-55%) para as características da crosta de baguetes pré-assadas, congeladas e reassadas (minimização do esfarelamento).

#### **2.2.2.3. Estocagem**

Os pães após passarem pelo pré-assamento podem ser estocados de quatro maneiras diferentes antes do reassamento: à temperatura ambiente, sob atmosfera modificada, sob refrigeração ou sob congelamento (BÁRCENAS; ROSELL, 2006; LEUSCHNER; O'CALLAGHAN; ARENDT, 1997; SLUIMER, 2005). A principal diferença que estas condições de estocagem proporcionam aos pães pré-assados é o tempo de vida de prateleira, o qual pode variar desde alguns dias até meses.

A estocagem congelada é um dos métodos mais eficientes para retardar os processos de envelhecimento do pão (MANDALA; SOTIRAKOGLU, 2005) e de equilíbrio de umidade entre a crosta e o miolo. Além disso ela preserva o aroma de pão fresco. No entanto, os dois prejuízos que a estocagem congelada pode provocar são a separação da crosta do miolo e o surgimento de uma descoloração logo abaixo da crosta, comumente chamada de "snow-white" (SLUIMER, 2005).

Há uma grande quantidade de informação disponível na literatura sobre o congelamento de alimentos, no entanto, existem poucos dados relatados sobre alimentos de alta porosidade, como os pães (HAMDAMI; MONTEAU; LE BAIL, 2004 a). Recentemente, vários pesquisadores têm focado seus estudos nas propriedades e nas mudanças termofísicas que ocorrem durante o pré-resfriamento e congelamento de pães pré-assados (GRENIER *et al.*, 2002; HAMDAMI; MONTEAU; LE BAIL, 2003; HAMDAMI; MONTEAU; LE BAIL, 2004 a, b, c, d; LUCAS; LE RAY; DAVENEL, 2005; LUCAS *et al.*, 2005).

O processo de congelamento adotado pelas empresas que comercializam este tipo de produto no Brasil utiliza equipamentos mecânicos de refrigeração, utilizando a convecção do ar à baixa temperatura (-40°C) com alta velocidade como princípio de troca térmica. A criogenia, que utiliza nitrogênio líquido ou dióxido de carbono, também é adequada ao processo de pães congelados (PINHEIRO, 2005).

Sabe-se que as moléculas do amido de pão pré-assado sofrem máxima retrogradação a temperaturas de -7 a 4°C, o que pode contribuir para a firmeza do miolo. Desta forma, é necessário que o resfriamento dos pães pré-assados passe por esta faixa de temperatura o mais rápido possível para que sua qualidade durante a estocagem congelada seja preservada (VULICEVIC *et al.*, 2004).

Le Bail *et al.* (2005) verificaram que para obter melhores características da crosta de baguetes pré-assadas e reassadas (minimização do esfarelamento), a temperatura do produto no início do congelamento não deve ser muito alta. Os resultados obtidos com a temperatura do centro a 35°C, a qual foi a menor temperatura investigada, foram melhores do que os obtidos a 55°C.

Um pão não embalado congela consideravelmente mais rápido do que um pão embalado. Já foi demonstrado que a taxa de congelamento de um pão não embalado responde a diferenças na velocidade e orientação do ar, bem como às temperaturas de congelamento. Perda de umidade durante o congelamento de pão não embalado é desprezível. Conseqüentemente, é recomendado que os

pães sejam congelados desembalados para minimizar a perda de qualidade durante o congelamento (JEREMIAH, 1996).

O período de estocagem congelada dos pães pré-assados está entre 12 e 20 semanas (VULICEVIC *et al.*, 2004)

#### **2.2.2.4. Reassamento**

Os principais objetivos da segunda fase de forneamento são reverter o envelhecimento do pão e proporcionar coloração amarronzada à crosta (LEUSCHNER; O'CALLAGHAN; ARENDT, 1997, 1998, 1999). Um rápido processo de congelamento acompanhado por um rápido descongelamento no forno é o que impulsiona o mercado de pães pré-assados (KENNEDY, 2000).

Em qualquer caso, para se obter uma coloração aceitável durante o reassamento, a temperatura do forno deve ser alta, por exemplo, mais alta do que 250°C. Desta forma, para manter a perda de umidade baixa, o tempo de reassamento deve ser curto, em torno de 10 min para bisnagas e 25 min para pães de forma (SLUIMER, 2005).

No entanto, Leuschner, O'Callaghan e Arendt (1997) encontraram que foi possível estabelecer o reassamento do pão a temperaturas mais baixas. Estes autores verificaram que o escurecimento da crosta ocorreu mais rápido a 200°C do que a 180°C. O tempo de reassamento de 20 min com o forno a 180°C foi suficiente para reverter a firmeza do envelhecimento do pão e recuperar a maciez do miolo de um pão fresco.

Ferreira, Watanabe e Benassi (1999) verificaram que depois do assamento final, o pão francês pré-assado apresentou uma contração de volume de aproximadamente 8% em relação ao pão submetido apenas ao pré-assamento. Entretanto, seu volume específico não foi reduzido na mesma proporção, pois, também ocorreu durante o assamento final, perda de água por evaporação. O volume do pão pré-assado, submetido ao assamento final, comparado ao volume

do pão convencional apresentou uma redução de 16%. Leuschner, O'Callaghan e Arendt (1997) também constataram uma perda de volume do pão (10%) durante a estocagem e o reassamento, mas ela não foi dependente do tempo de reassamento. Porém, a perda de peso aumentou de forma linear com o tempo de reassamento e foi levemente mais alto para a temperatura de 200 °C do que para 180 °C.

Uma perda de umidade ocorre durante o reassamento. Leuschner, O'Callaghan e Arendt (1997), ao trabalharem com pães de forma feitos com massas de 850 g, observaram que ela ocorreu somente dentro da área da crosta (até 10 mm abaixo da mesma), enquanto o resto do pão não foi afetado. O conteúdo de umidade na crosta diminuiu de 40 para 20% enquanto a umidade no miolo permaneceu a um valor constante (45%). Estes autores também verificaram que a cor do miolo não foi afetada pela segunda fase de reassamento.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Material

##### 3.1.1. Ingredientes e aditivos

Para a produção dos pães foram necessários os seguintes ingredientes e aditivos:

- Ácido ascórbico pó fino (lote: WA00074816, validade: 07/2006) da empresa DSM Produtos Nutricionais do Brasil Ltda. (São Paulo, SP);
- Açúcar extra fino especial, AMOROSO (lote: safra 2004/2005, validade: 04/2007) da empresa Rubi S.A. Indústria, Comércio e Agricultura (Osasco, SP);
- Alfa-amilase, GRINDAMYL™ A1000 Bakery Enzyme (lote: 4010107425, validade: 06/2005) da empresa Danisco Brasil Ltda. (Cotia, SP);
- Diacetil tartarato de mono e diglicerídios (DATEM), PANODAN® ALB 10 (lote: 1020135897, validade: 09/2005) da empresa Danisco Brasil Ltda. (Cotia, SP);
- Farinha de trigo para panificação, Letizia (lote: 16:54/1 31, validade: 05/2005) da empresa Cargill Agrícola S.A. (Tatuí, SP);
- Fermento biológico (*Saccharomyces cerevisae*) seco instantâneo para massa salgada, Fleischmann® (lote: 10:23 01/03, validade: 04/2006) da empresa AB Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda. (Pederneiras, SP);
- Glúten de trigo vital (lote: E4P05, validade: 01/2010) da empresa Roquette Freres (França);

- Gordura vegetal hidrogenada, Fatgill PF 38 EXP (lote: 16724, validade: 09/2005) da empresa Cargill Agrícola S.A. (Mairinque, SP);
- Sal, Lebre<sup>®</sup> (lote: 412CA, validade: 12/2006) da empresa Norte Salineira S.A. Indústria e Comércio NORSAL (Areia Branca, RN).

As seguintes fontes de fibra alimentar foram utilizadas no trabalho:

- Farelo de trigo: Fibra de trigo da empresa Bonali (Cruzeiro, SP);
- Amido resistente: Hi- Maize<sup>™</sup> 260 (amido resistente tipo granular – RS2, 60% de fibra alimentar total) da empresa National Starch & Chemical Industrial Ltda. (São Paulo, SP);
- LBG: Goma de alfarroba, Grindsted<sup>®</sup> LBG 147 (lote: 4091230, validade: 09/2005) da empresa Danisco Brasil Ltda. (Cotia, SP).

### **3.1.2. Equipamentos e afins**

Foram necessários, para a realização deste trabalho, os seguintes equipamentos e afins:

- Agitador de peneiras para análises granulométricas marca Bertel, modelo 295;
- Amassadeira automática espiral com duas velocidades marca Hypo, modelo HAE 10, capacidade 10 kg;
- Anemômetro VelociCheck<sup>™</sup> marca TSI, modelo 8330-M;
- Balança analítica marca Mettler Toledo, modelo AB 204, capacidade de 210 g;

- Balança semi-analítica marca Mettler Toledo, modelo PB 3002, capacidade de 3100 g;
- Balança semi-analítica marca OHAUS, modelo Adventury, capacidade de 3100 g;
- Balança comercial marca Filizola, modelo CS 15;
- Bomba de vácuo marca Tecnal, modelo TE 058;
- Caixas isotérmicas de poliestireno;
- Câmara de congelamento provida de 4 bandejas perfuradas e possuindo as seguintes dimensões internas: altura 1,11 m, profundidade 0,74 m e largura 0,77 m (Figura 2). A unidade de congelamento por convecção, em escala piloto, baseada no princípio de transferência de calor por convecção, utiliza fluxo de ar a alta velocidade (3 a 8 m/s) e baixa temperatura (-30 a -55°C). A câmara trabalha com sistema de refrigeração em cascata, composto por dois compressores semi-herméticos (ILKA – Mod. H2 14/2), operando com refrigerante R-22 e R-404a. A condensação para o refrigerante R-22 é a água e a evaporação ocorre no trocador de calor, que tem a função de ser o condensador do sistema de refrigeração que utiliza o R-404a. A expansão do R-404a por meio de válvula de expansão se dá diretamente no evaporador, dentro da câmara de congelamento;
- Câmara de fermentação Thermopão Maquip marca Klimaquip, modelo 20B;
- Centrífuga marca Fanem, modelo 204-NR;
- Colorímetro Color Quest II, marca Hunter Lab;
- Conjunto para extração de gordura segundo Soxhlet, constituído de balão, extrator, condensador tipo Ahllin e bateria de aquecedores (por resistência elétrica protegida por placa) marca Quimís, modelo 308.526;
- Cronômetro Electronic Timer Clock marca CE, modelo 882 French;
- Dessecador marca Pyrex, modelo 200 mm;



**Figura 2:** Câmara de congelamento utilizada para congelamento dos pães pré-assados.

- Destilador de nitrogênio marca Tecnal, modelo TE 036/1;
- Digestor de proteínas marca Tecnal, modelo TE 040/25;
- Embalagens plásticas da empresa Ecoplas com dimensões de 20 x 35 cm, composição 100% polipropileno, espessura 45  $\mu\text{m}$  e gramatura 40,7  $\text{g}/\text{m}^2$ ;
- Embalagens plásticas da empresa Selovac com dimensões de 20 x 35 cm, composição 80% polietileno de alta densidade e 20% nylon, espessura 180  $\mu\text{m}$ ;
- Estufa a vácuo marca Tecnal, modelo TE 395;
- Estufa com circulação e renovação de ar marca Tecnal, modelo TE 394/2;
- Extensógrafo marca Brabender;
- “Falling Number” marca Perten Instruments, modelo 1800;
- Farinógrafo marca Brabender;

- Fatiadora de pães elétrica marca G. Paniz;
- Formas de alumínio;
- Formas para bolo inglês marca Cimapi (folha de flandres e medidas 18 x 6,5 x 5 cm);
- Forno marca Hypo, modelo HF 4B;
- Freezer/Cooler marca Electrolux, modelo H300;
- Freezer Multi Shop marca Prosdócimo, modelo H40;
- Freezer/Refrigerador marca Metalfrio, modelo HC-4;
- Modeladora de pães marca Hypo, modelo HM2;
- Mufla marca Fornitec;
- Peneiras marca Granutest, com 8 polegadas de diâmetro e malhas de 10, 20, 32, 60, 80 e 100 mesh;
- Seladora de plásticos marca Proels, modelo MOD-P601;
- Sistema Glutomatic marca Perten Instruments;
- Sistema de aquisição de dados marca Full Gauge Controls composto por controladores, software supervisorio Sitrad (versão 3.13, janeiro/2005) e termoresistores;
- Termômetro T-BAR marca CE, modelo ST-9265N-A/B/C (com probe de aço sensor de 133 mm, leituras entre -30 °C e +150 °C);
- Texturômetro TA-XT2 marca Stable Micro Systems.

## **3.2. Métodos**

### **3.2.1. Caracterização das matérias-primas**

#### **3.2.1.1. Farinha de trigo**

A farinha de trigo utilizada no experimento foi caracterizada quanto aos seguintes aspectos:

##### **3.2.1.1.1. Composição centesimal**

As determinações de umidade, proteínas e cinzas da farinha foram realizadas pelos métodos n°44-10, n°46-13 e n°08-01 da AACC (1995), respectivamente. O teor de gordura foi determinado de acordo com o método 920.39C da AOAC (1997). Os carboidratos totais foram determinados por diferença (100% – os demais componentes). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

##### **3.2.1.1.2. Granulometria**

A granulometria da farinha foi determinada em triplicata através do método 965.22 da AOAC (1997). A série de peneiras utilizada foi de 10, 20, 32, 60, 80 e 100 mesh.

### 3.2.1.1.3. Teores e índice de glúten

Os teores de glúten úmido e seco e o índice de glúten (Equações 1, 2 e 3) foram determinados em duplicata no sistema Glutomatic, de acordo com o método n° 38-12 da AACCC (1995).

$$\text{Glúten úmido (\%)} = (\text{glúten úmido (g)} \times 100) / \text{amostra (g)} \quad (1)$$

$$\text{Glúten seco (\%)} = (\text{glúten seco (g)} \times 100) / \text{amostra (g)} \quad (2)$$

$$\text{Índice de glúten} = (\text{glúten que permanece no tamiz (g)} \times 100) / \text{glúten total (g)} \quad (3)$$

### 3.2.1.1.4. Atividade diastática

A atividade diastática da farinha de trigo foi analisada pelo “Falling Number”, de acordo com o método n° 56-81B da AACCC (1995).

### 3.2.1.1.5. Absorção de água e propriedades de mistura

A absorção de água e as propriedades de mistura do sistema farinha de trigo e água foram determinadas no farinógrafo Brabender, segundo o método n°52-21 da AACCC (1995), utilizando-se 300 g de farinha (base 14% de umidade). Os parâmetros obtidos a partir do farinograma foram: absorção de água, tempo de chegada, tempo de desenvolvimento da massa, tempo de saída, estabilidade e índice de tolerância à mistura.

#### **3.2.1.1.6. Propriedades de extensão**

A farinha de trigo foi analisada quanto às suas propriedades de extensão utilizando-se o extensógrafo Brabender, segundo o método n° 54-10 da AACC (1995). Os parâmetros avaliados nos extensogramas foram: resistência à extensão, resistência máxima, extensibilidade e número proporcional.

#### **3.2.1.2. Fontes de fibra alimentar**

As fontes de fibra alimentar utilizadas neste trabalho foram caracterizadas quanto aos seguintes aspectos:

##### **3.2.1.2.1. Umidade**

A umidade das fontes de fibra alimentar foi determinada em triplicata pelo método n°44-10 da AACC (1995).

##### **3.2.1.2.2. Granulometria**

A granulometria das fontes de fibra alimentar foi determinada em triplicata através do método 965.22 da AOAC (1997). A série de peneiras utilizada foi de 10, 20, 32, 60, 80 e 100 mesh.

### 3.2.1.2.3. Índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA)

Foram determinados pelo método descrito por Anderson, Conway e Pfeifer (1969), com pequenas modificações. Amostras de 2,5 g de fonte de fibra alimentar, em triplicata, foram suspensas em 30 mL de água a 30 °C, em tubos de centrífuga de 50 mL, previamente pesados. As suspensões foram submetidas à agitação constante por 30 min, e centrifugadas a 3400 rpm, por 10 min. O sobrenadante líquido foi cuidadosamente transferido para uma placa (previamente tarada) e levado à evaporação em estufa a 105 °C até peso constante. O tubo contendo o resíduo da centrifugação foi pesado. O IAA (g resíduo da centrifugação/ g matéria seca não solubilizada) e o ISA (% resíduo solúvel) foram obtidos através das Equações 4 e 5.

$$\text{IAA} = \frac{\text{peso do resíduo da centrifugação}}{\text{peso da amostra (base seca)} - \text{peso do resíduo de evaporação}} \quad (4)$$

$$\text{ISA} = \frac{\text{peso do resíduo da evaporação (sobrenadante seco)} \times 100}{\text{peso da amostra (base seca)}} \quad (5)$$

### 3.2.1.2.4. Fibra alimentar total

A determinação do teor de fibra alimentar total foi realizada em triplicata de acordo com o método 985.29 da AOAC (1997).

### 3.2.1.3. Combinações de farinha e fontes de fibra alimentar

As combinações de farinha e fontes de fibra alimentar, referentes a cada um dos ensaios do planejamento experimental descrito no item 3.2.2.1, foram

avaliadas quanto à absorção de água e propriedades de mistura, conforme descrição apresentada no item 3.2.1.1.5.

### 3.2.2. Produção dos pães

#### 3.2.2.1. Formulação

A formulação utilizada neste trabalho está apresentada na Tabela 5. As combinações de farelo de trigo, amido resistente e LBG foram acrescentadas à formulação (em porcentagens base peso farinha) de acordo com um planejamento experimental fatorial completo (Tabela 6). Dezoito ensaios foram conduzidos com oito pontos fatoriais ( $2^3$ ), seis pontos axiais ( $2 \times 3$ ), e quatro repetições do ponto central (Tabela 7). Em cada dia foram realizados 6 ensaios, com um dos pontos centrais incluídos. A quantidade de água acrescentada à formulação variou em função da absorção de água farinográfica determinada de acordo com o item 3.2.1.3.

**Tabela 5:** Formulação básica utilizada para a produção dos pães.

<b>Ingredientes e Aditivos</b>	
Farinha (%)	100
Água (%)	absorção*
Fermento (%)	1,7
Sal (%)	1,5
Açúcar (%)	4,0
Gordura (%)	4,0
Glúten vital (%)	4,0
DATEM (%)	0,3
$\alpha$ -amilase (ppm)	80
Ácido ascórbico (ppm)	100

\*com base na absorção de água farinográfica determinada de acordo com o item 3.2.1.3.

**Tabela 6:** Variáveis e níveis do planejamento experimental completo  $2^3$ .

Variáveis independentes	Níveis				
	- 1,68	- 1	0	+ 1	+ 1,68
FT (%)	0	4	10	16	20
AR (%)	0	4	10	16	20
LBG (%)	0	0,6	1,5	2,4	3

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

**Tabela 7:** Matriz do planejamento experimental para a adição das diferentes fontes de fibra alimentar na formulação dos pães.

Ensaio	Níveis codificados das variáveis independentes			Níveis não-codificados das variáveis independentes		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	FT (%)	AR (%)	LBG (%)
Porção fatorial						
1	-1	-1	-1	4	4	0,6
2	+1	-1	-1	16	4	0,6
3	-1	+1	-1	4	16	0,6
4	+1	+1	-1	16	16	0,6
5	-1	-1	+1	4	4	2,4
6	+1	-1	+1	16	4	2,4
7	-1	+1	+1	4	16	2,4
8	+1	+1	+1	16	16	2,4
Pontos axiais						
9	-1,68	0	0	0	10	1,5
10	+1,68	0	0	20	10	1,5
11	0	-1,68	0	10	0	1,5
12	0	+1,68	0	10	20	1,5
13	0	0	-1,68	10	10	0
14	0	0	+1,68	10	10	3
Pontos centrais						
15	0	0	0	10	10	1,5
16	0	0	0	10	10	1,5
17	0	0	0	10	10	1,5
18	0	0	0	10	10	1,5

$x_1$  = % farelo de trigo;  $x_2$  = % amido resistente;  $x_3$  = % LBG. As percentagens estão baseadas em peso da farinha. FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

### **3.2.2.2. Procedimento para elaboração dos pães convencionais**

Para cada formulação, os ingredientes foram misturados em amassadeira por 4 min em velocidade lenta (com adição tardia de gordura e DATEM) e monitorou-se o tempo necessário para que a massa alcançasse o completo desenvolvimento do glúten em velocidade rápida. A água foi adicionada resfriada e a temperatura final da massa foi monitorada para não ultrapassar 29°C. Imediatamente após a mistura, as massas foram divididas em porções de  $175 \pm 1$  g e foram postas em descanso por 15 min em câmara de fermentação a 30°C e 80% UR. Decorrido este tempo, elas foram moldadas na forma cilíndrica, colocadas em formas de folha de flandres 18 x 6,5 x 5 cm e deixadas fermentar em câmara de fermentação a 30°C e a 80% UR, até que o centro geométrico da massa alcançasse uma altura de 1,5 cm além da forma. O tempo de fermentação para cada formulação foi monitorado.

Os pães foram assados por 40 min a 160°C, com vapor nos primeiros instantes de forneamento. Uma hora após a retirada dos pães do forno, os mesmos foram embalados em sacos de polipropileno.

### **3.2.2.3. Procedimento para elaboração dos pães pré-assados**

A produção dos pães pré-assados seguiu o mesmo procedimento dos pães convencionais até a etapa de fermentação final. Após esta etapa, eles foram pré-assados, resfriados, congelados, estocados e reassados.

#### **3.2.2.3.1. Pré-assamento e resfriamento**

Em teste preliminar foi estudado o efeito do tempo de pré-assamento de pães pré-assados elaborados com a quantidade de fibra referente ao ensaio do

ponto central do planejamento experimental. Dentre os tempos de pré-assamento testados (15, 20, 25 e 30 min), elegeu-se o tempo de 15 min como o mais adequado (forno a 160°C), pois além de haver menor gasto de tempo e energia, os pães apresentaram volume específico equivalente aos pães dos demais tempos de pré-assamento quando reassados. A crosta dos pães pré-assados por 15 min também apresentou-se mais fina e clara antes do reassamento e, conseqüentemente, menos desidratada, o que evitou o seu esfarelamento posterior às etapas subseqüentes ao pré-assamento (ALMEIDA *et al.*, 2005). A Figura 3 mostra o aspecto da crosta e do miolo destes pães pré-assados.



**Figura 3:** Aspecto da crosta e do miolo dos pães com fibras com diferentes tempos de pré-assamento: 15, 20, 25 e 30 min (da esquerda para a direita).

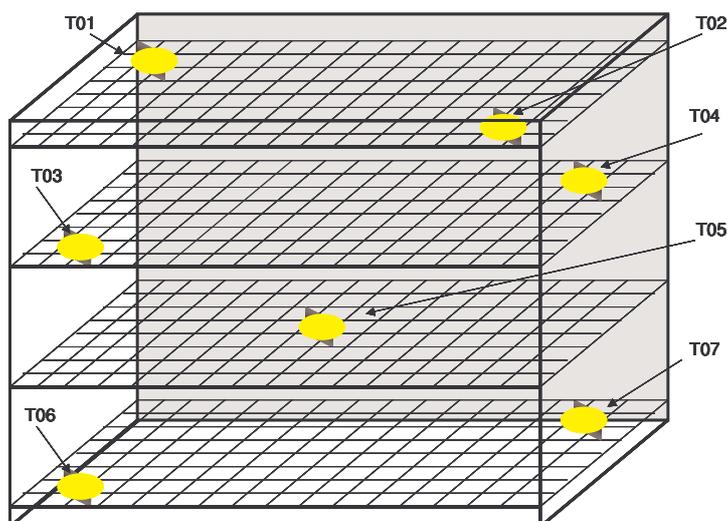
Portanto, os pães foram assados por 15 min a 160°C, com vapor nos primeiros instantes de forneamento. Após a saída do forno, os pães pré-assados foram retirados das formas e deixados resfriar por 1 h e 20 min à temperatura ambiente.

### **3.2.2.3.2. Congelamento**

O congelamento dos pães pré-assados foi realizado em câmara estática de congelamento de frio mecânico, utilizando a convecção do ar forçado à baixa temperatura (-40°C) com velocidade média de 3,0 m/s. Em cada batelada, 70 pães eram congelados. Eles eram distribuídos dentro da câmara em 4 bandejas perfuradas de tela metálica forradas com papel manteiga. O fim do processo foi estabelecido pela temperatura no centro térmico da massa, que deveria atingir -18°C. As temperaturas citadas foram monitoradas através de termoresistores inseridos no centro do pão e no interior da câmara, sendo então obtidas curvas de congelamento.

#### **3.2.2.3.2.1. Cinética da câmara de congelamento**

Para verificar a condição de igualdade de transferência de calor dentro da câmara, antes do congelamento dos pães, foram inseridos termoresistores, previamente calibrados, em vários pontos dentro da câmara (Figura 4). Logo após, foi realizada uma simulação de congelamento e foram registradas as temperaturas informadas pelos termoresistores em função do tempo, através de um sistema de aquisição de dados composto por controladores e software supervisor.



**Figura 4:** Posicionamento dos termoresistores na câmara de congelamento.

#### 3.2.2.3.3. Estocagem

Os pães pré-assados congelados foram embalados em sacos plásticos (composição: polietileno de alta densidade e nylon) e estocados em freezer horizontal com temperaturas de estocagem variando entre  $-15^{\circ}\text{C}$  e  $-18^{\circ}\text{C}$  durante os períodos de 32 e 62 dias.

#### 3.2.2.3.4. Reassamento

Os pães pré-assados, assim que completaram os 32 ou 62 dias de estocagem, foram removidos do freezer e desembalados. Eles foram colocados sobre bandejas perfuradas e inseridos em forno a  $160^{\circ}\text{C}$  durante  $25 \pm 3$  min, com vapor nos primeiros instantes de forneamento, para que fossem descongelados e reassados. Uma hora após a retirada dos pães do forno, os mesmos foram embalados em sacos de polipropileno.

### **3.2.3. Avaliação das características de qualidade dos pães**

Os pães convencionais (PC) e os pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados (P32 e P62) foram caracterizados através das análises descritas abaixo.

#### **3.2.3.1. Volume específico**

O volume aparente dos pães foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço, e a massa, utilizando-se balança semi-analítica. O volume específico foi determinado pela relação volume/massa e foi expresso em mL/g. A determinação do volume específico dos pães foi realizada em triplicata, 1 hora após a saída do forno.

#### **3.2.3.2. Cor instrumental da crosta e do miolo**

A cor da crosta e do miolo dos pães convencionais e de todos os pães pré-assados reassados foi avaliada instrumentalmente, utilizando-se o Colorímetro Color Quest II da marca Hunter Lab. Os parâmetros estabelecidos foram: ângulo de observação 10º e iluminante D65. Foram determinados os valores de L\* ou luminosidade (preto 0/branco 100), a\* (verde -/vermelho +) e b\* (azul -/amarelo +), referidos também como sistema de cor CIELab e calculados os valores de C\* ou croma e h\* ou ângulo de tonalidade, referidos também como sistema de cor CIELCh, de acordo com Minolta (1993) (Equações 6 e 7). A cor da crosta foi determinada no centro do topo do pão, enquanto que a avaliação da cor do miolo foi realizada no centro da fatia central do pão. Todas as medidas foram realizadas em triplicatas.

$$\text{Croma (C}^*) = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{Ângulo de tonalidade (h}_{ab}) = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad (7)$$

### 3.2.3.3. Avaliação sensorial

A avaliação sensorial dos pães foi realizada dois dias após o forneamento. 30 provadores não treinados avaliaram as amostras utilizando uma escala hedônica de 9 pontos (STONE; SIDEL, 1993), sendo os extremos de valor 1 atribuído ao termo hedônico “desgostei extremamente” e de valor 9 atribuído ao termo “gostei extremamente”. Os provadores analisaram as amostras em cabines individuais, sob a luz branca. Seis amostras eram apresentadas em referência monádica. Os atributos avaliados foram: cor da crosta, cor do miolo, aparência da crosta, aparência do miolo, aroma, sabor e textura. Os provadores também expressaram sua intenção de compra em uma escala que variava desde o termo “certamente compraria” até o termo “certamente não compraria”. A ficha de avaliação utilizada pelos provadores encontra-se no Anexo A.

Foi traçado um perfil dos provadores quanto à frequência de consumo de pão com fibras.

### 3.2.3.4. Avaliação da vida de prateleira

Os pães convencionais e os pães pré-assados, com estocagem congelada de 32 e 62 dias, e reassados, foram embalados em sacos de polipropileno, deixados à temperatura ambiente e avaliados quanto à umidade e ao perfil de textura depois de 1, 4 e 7 dias de forneamento. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia descrita nos itens abaixo.

#### **3.2.3.4.1. Umidade do miolo**

A umidade do miolo dos pães foi determinada em triplicata pelo método nº44-10 da AACC (1995).

#### **3.2.3.4.2. Análise do perfil de textura (TPA)**

Os pães previamente cortados com um fatiador elétrico, em fatias de 1,25 cm cada, tiveram a textura avaliada através da análise de perfil de textura (TPA) determinado em um texturômetro TA-XT2, utilizando a célula sensor probe de alumínio P/100 (*compression platens* de diâmetro de 100 mm) e os seguintes parâmetros: velocidade pré-teste = 2,0 m/s; velocidade de teste = 2,0 m/s; velocidade de pós-teste = 2,0 m/s; força = 20 g; ciclo de contagem = 5 segundos; compressão = 12,5 mm; sensibilidade do aparelho = 10 g. A avaliação foi realizada, em seis replicatas, pela compressão do probe em duas fatias centrais sobrepostas e dispostas horizontalmente à plataforma. Os atributos avaliados foram: dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade; resiliência.

#### **3.2.3.5. Fibra alimentar total**

O teor de fibra alimentar total foi determinado no pão referente ao ponto central do planejamento experimental (ensaio 15), pré-assado, com estocagem congelada de 62 dias, e reassado. A determinação foi realizada em duplicata, de acordo com o método 985.29 da AOAC (1997).

Um cálculo teórico do teor de fibra alimentar dos pães de cada ensaio do planejamento experimental também foi realizado. Levou-se em consideração os valores de fibra alimentar total das fontes de fibra (determinados de acordo com o item 3.2.1.2.4.), o teor de fibra alimentar da farinha (2,5%) que consta na literatura

(CHO; DREHER, 2001; SIDHU; AL-HOOTI; AL-SAQER, 1999; THEANDER; WESTERLUND; AMAN, 1993) e a perda de peso dos pães durante o assamento (20%) como perda de água.

#### **3.2.4. Análise dos resultados**

O experimento fatorial citado no item 3.2.2.1., que estuda as variáveis independentes  $x_1$  (farelo de trigo),  $x_2$  (amido resistente) e  $x_3$  (LBG), foi avaliado segundo a metodologia de superfície de resposta utilizando-se o programa Statistica 5.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, EUA), de acordo com Box, Hunter e Hunter (1978) e Rodrigues e Lemma (2005). As respostas ou variáveis dependentes foram:

- Parâmetros farinográficos das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar;
- Parâmetros do processo: tempo de mistura rápida e tempo de fermentação;
- Características de qualidade do pão: volume específico, cor instrumental da crosta e do miolo (parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h$ ), avaliação sensorial (atributos do teste de aceitação e intenção de compra), umidade e dureza.

O efeito do período de estocagem dos pães pré-assados foi analisado através da submissão da média dos dados das características de qualidade dos pães dos dezoito ensaios do planejamento à análise de variância (ANOVA) e posteriormente ao teste de médias (Tukey).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização das matérias-primas

#### 4.1.1. Farinha de trigo

##### 4.1.1.1. Composição centesimal

Os resultados da composição centesimal obtidos para a farinha de trigo utilizada neste trabalho estão apresentados na Tabela 8, abaixo.

**Tabela 8:** Composição da farinha de trigo.

Componentes	Teor (%)	
	Base úmida	Base seca
Umidade (%)	10,22 ± 0,08	—
Carboidratos (%)	76,29 ± 0,16	84,98
Proteínas (%)	11,86 ± 0,13	13,21
Lipídeos (%)	1,08 ± 0,02	1,20
Cinzas (%)	0,55 ± 0,04	0,61

Pelos resultados apresentados na Tabela 8, constata-se que a farinha de trigo analisada apresentou composição centesimal de acordo com a composição para farinhas de trigo apresentadas por Matz (1960) (proteína 7,5 a 15,0%, cinzas 0,30 a 1,0%, lipídeos 1,0 a 1,5% e carboidratos 68,4 a 76,5%).

A farinha de trigo avaliada atende os requisitos de composição da farinha de trigo classificada como tipo I pela legislação brasileira. A Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005, estabelece que a farinha de trigo do tipo I deve ter teor de umidade máximo de 15,0%, teor de proteína mínimo de 7,5% (base seca)

e teor de cinzas inferior a 0,8% (base seca) (BRASIL, 2005 a). O conteúdo de umidade da farinha não deve ser alto (não maior do que 14%) para permitir uma estocagem segura, e coloração satisfatória (KENT, 1983).

O conteúdo e a qualidade de proteína são positivamente correlacionados com a qualidade do pão, em termos de volume específico. Valores de proteína entre 10,8 – 11,3% na farinha seriam adequados para o seu emprego na produção de pães pelo processo de desenvolvimento mecânico e entre 11,8 – 12,3 % pelo processo fermentativo (KENT, 1983). No entanto, se uma quantidade de fibra acima de 10% é adicionada à farinha, um conteúdo de proteína em torno de 16% é recomendado (CAUVAIN, 2003). Logo, visando a adequação protéica da farinha de trigo com a adição das diferentes fontes de fibra alimentar, tanto em termos de quantidade, como de qualidade, glúten vital foi adicionado à formulação dos pães, como pode ser verificado na Tabela 5.

#### **4.1.1.2. Granulometria**

A Tabela 9 contém o perfil granulométrico da farinha de trigo.

**Tabela 9:** Distribuição percentual do tamanho de partículas da farinha de trigo.

Mesh	Abertura (mm)	Fração retida (%)
10	1,680	0,68 ± 0,33
20	0,840	7,46 ± 5,86
32	0,500	13,11 ± 21,46
60	0,250	58,62 ± 14,51
80	0,177	11,27 ± 4,97
100	0,150	1,74 ± 0,67
fundo	< 0,150	7,12 ± 1,33

A análise dos resultados permite observar que 71,73% das partículas ficaram retidas entre as peneiras de 20 e 60 mesh sendo, portanto, constituídas, predominantemente, de partículas de tamanho médio (250 a 840  $\mu\text{m}$ ).

Pela Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005, 95% do produto deve passar pela peneira com abertura de malha de 250  $\mu\text{m}$  (BRASIL, 2005a). Verifica-se que a farinha de trigo não atende a legislação vigente, uma vez que somente 20,13% da farinha passou através da peneira com a abertura citada, ou seja, as partículas da farinha de trigo utilizadas neste trabalho possuem uma granulometria um pouco maior do que a recomendada.

A granulometria pode ser considerada uma característica de qualidade da farinha de trigo. O tamanho da partícula tem sido proposto como um possível fator envolvido na determinação da capacidade de absorção de água de massas de pão. Partículas tendo em média tamanho mais fino aceleram a taxa de hidratação da farinha, fazendo com que a massa plástica do pão alcance mais rapidamente o estágio onde o trabalho pode ser aplicado para o desenvolvimento do glúten (POMERANZ, 1988).

#### **4.1.1.3. Teores e índice de glúten**

Dentre as proteínas do trigo, a fração protéica glúten é reconhecida geralmente como sendo a de importância em panificação. Ela representa em torno de 80 a 90% das proteínas totais da farinha de trigo branca e compreende essencialmente dois grandes grupos protéicos, gliadinas e gluteninas, que estão presentes em quantidades aproximadamente iguais (BLANSHARD; FRAZIER; GALLIARD, 1986). A Tabela 10 mostra os teores de glúten úmido e seco, e o valor do índice de glúten da farinha de trigo.

**Tabela 10:** Teores de glúten úmido e seco e índice de glúten da farinha de trigo.

Parâmetros	
Glúten úmido (%)	30,90 ± 0,42
Glúten seco (%)	10,25 ± 0,21
Índice de glúten	75,67 ± 9,03

O glúten da farinha de trigo tem uma capacidade relativamente constante de absorção de água (aproximadamente 2,8 vezes o conteúdo de glúten seco) (POMERANZ, 1988). Pode ser notado que esta relação foi observada para a farinha de trigo analisada.

De acordo com Perten (1990), a faixa do índice de glúten ótimo para panificação é de 60 a 90. Farinhas que apresentam valores abaixo de 40 possuem glúten muito fraco para este propósito.

#### 4.1.1.4. Atividade diastática

O valor de Falling Number (FN) mede indiretamente a atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, sendo um indicativo de qualidade da farinha para panificação. Um valor de FN de 250 s indica uma farinha com atividade normal de  $\alpha$ -amilase e boa qualidade de panificação. Um valor de 65 s indica alta atividade de  $\alpha$ -amilase e produção de pães com miolos pegajosos. Altos valores de FN, na faixa de 400 s, indicam pouca atividade de  $\alpha$ -amilase para panificação (POSNER; HIBBS, 1999). Valores típicos para a atividade de  $\alpha$ -amilase seriam FN em torno de 330 para farinhas empregadas em panificação (KENT, 1983).

Na avaliação da farinha de trigo foi encontrado um valor de  $358 \pm 6$  s, indicando uma baixa atividade de  $\alpha$ -amilase. Por este motivo, adicionou-se  $\alpha$ -amilase fúngica à formulação dos pães, como pode ser verificado na Tabela 5.

#### 4.1.1.5. Absorção de água e propriedades de mistura

A curva do farinograma fornece basicamente duas propriedades físicas da farinha: 1) a absorção ou a quantidade de água requerida para a massa alcançar uma consistência definida, e 2) um perfil geral do comportamento da mistura da massa (LOCKEN; LOSKA; CHAIRMAN, 1972). Os parâmetros farinográficos da farinha de trigo utilizada neste trabalho estão apresentados na Tabela 11 e podem ser melhor visualizados através do farinograma apresentado no Anexo BA.

**Tabela 11:** Parâmetros farinográficos da farinha de trigo.

Parâmetros	
Absorção de água (%)	64,50
Tempo de chegada (min)	1,75
Tempo de desenvolvimento da massa (min)	9,00
Tempo de saída (min)	14,00
Estabilidade (min)	12,25
Índice de tolerância à mistura (ITM) (UF)	30

Observando a absorção de água e as propriedades de mistura da farinha de trigo analisada, percebe-se que se trata de uma farinha apropriada ao emprego em panificação, de acordo com Pomeranz (1988). Este autor relatou que a farinha empregada na produção de pães pelo método direto deveria possuir as seguintes características: absorção de água média a alta (59 a 75%), tempo de desenvolvimento da massa de 5 a 9 min e estabilidade de no mínimo 7,5 min.

#### 4.1.1.6. Propriedades de extensão

A extensibilidade e a resistência à extensão da massa são geralmente estimadas por parâmetros do extensograma (CHINACHOTI; VODOVOTZ, 2001), os quais podem classificar a farinha de acordo com sua força: fraca, média, forte e

muito forte (HOSENEY, 1998). Os parâmetros extensográficos da farinha de trigo utilizada neste trabalho estão apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12:** Parâmetros extensográficos da farinha de trigo.

Parâmetros	45 min	90 min	135 min
Resistência à extensão (R) (UE)	240	260	250
Resistência máxima (Rm) (UE)	310	340	340
Extensibilidade (E) (mm)	170	165	170
Número proporcional (D=R/E)	1,41	1,58	1,47

De acordo com os parâmetros extensográficos apresentados, a farinha de trigo avaliada pode ser classificada como uma farinha de força média, de acordo com Hosene (1998). Pomeranz (1988) relata que a farinha de trigo empregada na produção de pães pelo método direto deve possuir característica média de extensibilidade e resistência à extensão.

#### **4.1.2. Fontes de fibra alimentar**

##### **4.1.2.1. Umidade**

De acordo com Larrauri (1999), a umidade inferior a 9% é uma das principais características das fontes de fibra alimentar comercializados. Outras características seriam conteúdo de fibra alimentar maior que 50%, baixo conteúdo de lipídeos, baixo valor calórico e sabor e aroma neutros. A Tabela 13 apresenta a umidade encontrada para as diferentes fontes de fibra alimentar.

**Tabela 13:** Umidade das fontes de fibra alimentar.

Fontes de fibra	Umidade (%)
FT	7,56 ± 0,03
AR	9,89 ± 0,06
LBG	6,96 ± 0,07

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

A umidade encontrada para o farelo de trigo está de acordo com a exigida pela legislação brasileira. A Resolução RDC n°263, de 22 de setembro de 2005, estabelece que o farelo deve apresentar umidade máxima de 15,0% (BRASIL, 2005b). Na literatura, valores de umidade entre 2,17% e 11,6% são relatados para esta fonte de fibra (CHO; DEVRIES; PROSKY, 1997; CHO; DREHER, 2001; DURAL; HINES, 1993; PROSKY; DEVRIES, 1992; SHENOY; PRAKASH, 2002).

O amido resistente apresentou umidade próxima à relatada pela National Starch and Chemical (2005). De acordo com as especificações técnicas, o produto tem teor de umidade entre 10 e 14%.

A LBG apresentou umidade entre os valores reportados por Herald (1986) e Wang, Rosell e Barber (2002): 3 e 12%. A Danisco Brasil Ltda. (2005), fornecedora da LBG, estabelece nas especificações técnicas como 14% o teor máximo de umidade do produto.

#### 4.1.2.2. Granulometria

A Tabela 14 contém o perfil granulométrico das fontes de fibra.

**Tabela 14:** Distribuição percentual do tamanho de partículas das fontes de fibra.

Mesh	Abertura (mm)	Fração retida (%)		
		FT	AR	LBG
10	1,680	6,42 ± 3,82	4,01 ± 2,77	0,05 ± 0,06
20	0,840	51,13 ± 3,60	40,90 ± 4,44	1,13 ± 0,58
32	0,500	37,26 ± 1,60	3,01 ± 0,77	0,37 ± 0,18
60	0,250	4,04 ± 0,30	48,10 ± 9,72	48,41 ± 22,22
80	0,177	0,49 ± 0,10	3,63 ± 2,45	36,21 ± 17,02
100	0,150	0,37 ± 0,05	0,26 ± 0,16	7,82 ± 3,68
fundo	< 0,150	0,29 ± 0,10	0,09 ± 0,07	6,01 ± 3,26

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

A análise dos resultados permite observar que, das fontes de fibra utilizadas, o farelo de trigo é a que apresentou maior granulometria, estando constituído de 94,81% de partículas de tamanho superior a 500 µm. O amido resistente apresentou predominantemente (92,01%) partículas de tamanho entre 250 a 1680 µm. No perfil granulométrico da LBG, 50,04% das partículas eram menores que 250 µm.

De acordo com Posner (1991), o tamanho das partículas do farelo de trigo constitui um dos maiores problemas associados à sua utilização em produtos alimentícios. Na literatura, vários trabalhos mostram que a granulometria do farelo de trigo tem influência desde as propriedades da fibra, como a capacidade de absorção de água (SHENOY; PRAKASH, 2002) e a capacidade de retenção de água (MONGEAU; BRASSARD, 1982; ZHANG; MOORE, 1997), até as propriedades reológicas da farinha de trigo (WOOTTON; SHAMS-UD-DIN, 1986; ZHANG; MOORE, 1997), como também sobre as características de qualidade de pães nos quais é empregado (AL-SAQER; SIDHU; AL-HOOTI, 2000; KOCK; TAYLOR; TAYLOR, 1999; SIDHU; AL-HOOTI; AL-SAQER, 1999; WOOTTON; SHAMS-UD-DIN, 1986; ZHANG; MOORE, 1999).

Sob o ponto de vista fisiológico, já houve suposições de que somente partículas médias ou grandes de farelo de trigo, em oposição às partículas finas,

poderiam ser utilizadas para efeitos laxativos. No entanto, Jenkins *et al.* (1999) concluíram que partículas finas de farelo de trigo, apesar de serem menos efetivas do que partículas maiores, ainda são muito efetivas como agentes de massa fecal, e também podem ser empregadas em tratamentos de constipação e doenças correlacionadas. Além disso, comparadas com partículas maiores, as partículas finas do farelo de trigo podem ser mais rapidamente fermentadas (WOODS; GORBACH, 1986). De acordo com Guillon e Champ (2000), o tamanho da partícula não é um dado necessariamente relevante para avaliar o potencial da fibra no tempo de trânsito intestinal. O tamanho da partícula da fibra pode variar durante sua passagem pelo trato digestivo como resultado da mastigação, trituração no estômago e degradação bacteriológica no intestino grosso. Alguns componentes envolvidos na coesividade da matriz fibrosa podem ser solubilizados.

Neste trabalho, não se estabeleceu *a priori* a granulometria das fontes de fibra alimentar. Optou-se por utilizar aquelas que estão disponíveis comercialmente para utilização nas empresas de panificação.

#### **4.1.2.3. Índices de absorção de água e de solubilidade em água**

A capacidade de ligação de água tem sido vastamente estudada na funcionalidade dos alimentos, devido a sua importância nos mesmos (ABDUL-HAMID; LUAN, 2000). A água exerce um papel importante nas principais mudanças que ocorrem durante o assamento da massa do pão, o que inclui gelatinização do amido, desnaturação de proteínas, inativação de enzimas e leveduras e formação de sabor, aroma e cor. Seu conteúdo e distribuição também influenciam a vida de prateleira dos pães (CZUCHAJOWSKA; POMERANZ; JEFFERS, 1989), além de interferir nas propriedades de congelamento do alimento. A Tabela 15 apresenta os índices de absorção e de solubilidade em água das diferentes fontes de fibra alimentar.

**Tabela 15:** Índices de absorção de água e de solubilidade em água das fontes de fibra alimentar.

Fontes de fibra	IAA (g resíduo da centrifugação / g matéria seca não solubilizada)	IAA (% resíduo solúvel)
FT	6,33 ± 0,21	12,20 ± 0,11
AR	2,32 ± 0,01	0,98 ± 0,18
LBG	13,69 ± 0,03	0 ± 0

IAA = índices de absorção de água; ISA = índice de solubilidade em água; FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

Segundo Cho, Devries e Prosky (1997), as ligações de hidrogênio são a chave do entendimento de muitas propriedades estruturais das fibras alimentares. Por elas serem compostas primariamente por sacarídeos, a ligação de hidrogênio que afeta a estrutura é a ligação de hidrogênio de hidroxila a hidroxila, e menos freqüentemente entre grupos hidroxila e carboxila e entre grupos hidroxila e aminas em certas fibras especiais. Quando os grupos hidroxila de um sacarídeo particular são orientados para permitir um alinhamento espacial próximo entre os monômeros de determinadas cadeias adjacentes, o polímero sacarídeo tem uma significativa força de tensão e cisalhamento. Esta forte ligação permite uma baixa penetração da água nas cadeias moleculares, o que deixa a fibra com uma baixa solubilidade. Isto é o que acontece com o amido resistente utilizado neste trabalho. Como ele é um amido com alto teor de amilose, ele possui uma estrutura cristalina bem organizada devido à sobreposição das cadeias lineares de amilose. Como consequência, a hidratação de sua estrutura é prejudicada, fazendo com que o mesmo possua baixos índices de absorção e solubilidade em água. Comparado às fibras de aveia e trigo, celulose, farelos de aveia, milho e trigo, o amido resistente comercial (Novelose) tem uma menor capacidade de retenção de água (g água/ g fonte de fibra), que é similar à da farinha (YUE; WARING, 1998).

Por outro lado, a interrupção da continuidade linear do polímero com mais de um arranjo espacial aberto, faz com que as ligações de hidrogênio possam ocorrer intramolecularmente ou com pequenas moléculas tais como a água (CHO; DEVRIES; PROSKY, 1997). A presença de ramificações (galactoses) ao longo da cadeia linear de manoses da LBG, permite a penetração e interação da água com a sua estrutura. Isto pode ser observado pelo maior IAA apresentado pela LBG em relação às demais fontes de fibra alimentar. No entanto, a LBG não apresentou nenhum valor para o ISA, o que deve-se ao fato desta goma ter absorvido toda a água durante a análise do IAA, não obtendo-se nenhum sobrenadante após a centrifugação. Possivelmente, caso a metodologia empregada envolvesse uma maior quantidade de água, o valor do IAA obtido poderia ser maior. Além disso, o valor do ISA da LBG está de acordo com Herald (1986), Maier *et al.* (1993) e Nussinovitch (1997), os quais relataram que é necessário que a temperatura esteja acima de 75 a 85 °C para que esta fonte de fibra alimentar se solubilize.

De acordo com Johnson e Southgate (1994), o material de parede celular do farelo de trigo é composto, em base seca, por 18,9% de celulose, 2,0% de substâncias pécticas, 53,5% de hemicelulose e 12,1% de lignina. O farelo de trigo apresentou valor intermediário de IAA em relação às demais fontes de fibra alimentar analisadas e ISA maior do que o amido resistente. A capacidade de hidratação do farelo de trigo é devido à presença de substâncias pécticas e da hemicelulose, uma vez que a celulose e a lignina são substâncias com estrutura molecular altamente organizadas não possuindo afinidade pela água. As células de aleurona no farelo são como buracos em uma esponja, absorvendo água (MONGEAU; BRASSARD, 1982).

#### **4.1.2.4. Fibra alimentar total**

Fibra alimentar total (FAT) é o termo analítico que inclui as frações de fibras alimentares insolúveis e solúveis (CHO; DREHER, 2001). O teor de fibra alimentar total das fontes de fibra está apresentado na Tabela 16.

**Tabela 16:** Fibra alimentar total das fontes de fibra alimentar.

Fontes de fibra	FAT (g/100g)	
	Base úmida	Base seca
FT	47,22 ± 0,08	51,37
AR	37,98 ± 0,02	42,65
LBG	82,14 ± 0,02	89,22

FAT = fibra alimentar total; FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

O teor de fibra alimentar total encontrado para o farelo de trigo está de acordo com o encontrado na literatura. Valores entre 37,00 e 50,68% são relatados (CHO; DEVRIES; PROSKY, 1997; CHO; DREHER, 2001; POSNER, 1991; PROSKY; DEVRIES, 1992; RAO; RAO, 1991; SIDHU; AL-HOOTI; AL-SAQER, 1999; SHENOY; PRAKASH, 2002; THEANDER; WESTERLUND; AMAN, 1993). Cho e Dreher (2001) e Shenoy e Prakash (2002) constataram que esta fonte de fibra é constituída de 94 a 95% de fibra insolúvel e de 6 a 5% de fibra solúvel.

Para o amido resistente, Cho e Dreher (2001) citaram que o teor de fibra alimentar total é de 30 a 40%, o que está de acordo com o resultado encontrado. No entanto, a National Starch and Chemical (2005), fornecedora do amido resistente Hi-Maize™ 260, relata um teor mínimo de 60% de fibra alimentar total (base seca) para esta fonte de fibra alimentar.

O teor de fibra alimentar total encontrado para a LBG foi próximo ao relatado na literatura. Cho e Dreher (2001) citaram que o teor de fibra alimentar total da LBG é 90%. Já Wang, Rosell e Barber (2002) encontraram que a LBG possui 85% de fibra alimentar total, das quais 74,0% é fibra insolúvel e 11,0% é fibra solúvel.

#### **4.1.3. Combinações de farinha e fontes de fibra alimentar**

A Tabela 17 reúne os resultados da absorção de água e propriedades de mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar, as quais também podem ser visualizadas através dos farinogramas apresentados nos Anexo BA - BE.

**Tabela 17:** Absorção de água e propriedades de mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Parâmetros farinográficos					
				ABS (%)	TC (min)	TDM (min)	TS (min)	EST (min)	ITM (UF)
1	-1	-1	-1	68,20	2,50	6,50	9,50	7,00	40
2	+1	-1	-1	71,20	5,50	7,75	10,25	4,75	50
3	-1	+1	-1	69,00	2,00	5,75	8,25	6,25	60
4	+1	+1	-1	71,60	5,25	7,50	11,00	5,75	50
5	-1	-1	+1	74,90	3,00	7,25	11,75	8,75	40
6	+1	-1	+1	77,30	6,25	10,00	13,25	7,00	70
7	-1	+1	+1	74,90	3,25	7,25	9,50	6,25	50
8	+1	+1	+1	75,70	5,50	8,75	11,25	5,75	60
9	-1,68	0	0	71,10	1,75	6,00	9,50	7,75	40
10	+1,68	0	0	74,70	6,25	8,50	11,00	4,75	60
11	0	-1,68	0	73,90	5,00	7,75	11,00	6,00	60
12	0	+1,68	0	73,00	3,75	6,75	9,50	5,75	70
13	0	0	-1,68	69,90	5,00	7,50	11,00	6,00	50
14	0	0	+1,68	78,40	5,25	8,25	10,75	5,50	50
15	0	0	0	73,70	4,50	7,25	9,50	5,00	80
16	0	0	0	74,00	4,50	7,25	10,00	5,50	70
17	0	0	0	74,00	5,00	7,50	10,00	5,00	70
18	0	0	0	73,70	4,50	7,50	10,75	6,25	60
Farinha	--	--	--	64,50	1,75	9,00	14,00	12,25	30

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); 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.

#### 4.1.3.1. Absorção de água

Pode-se esperar que a presença de suplementos fibrosos possa alterar as propriedades reológicas da massa durante a mistura e conseqüente processamento (NAVICKIS; NELSEN, 1992). É bem conhecido que, se a água é adicionada à farinha em pequenas quantidades, a massa resultante pode ser insuficientemente coesiva e incapaz de sustentar o estresse mecânico. Por outro lado, se uma grande quantidade de água é adicionada à farinha, a massa resultante é fraca e pegajosa (CHINACHOTI; VODOVOTZ, 2001). Por causa da alta capacidade de retenção de água da maioria das fibras, a absorção da formulação geralmente necessita ser aumentada com o aumento dos níveis de fibras usadas (CHO; DREHER, 2001). Além disso, se uma certa proporção de fibras solúveis e insolúveis estão presentes, a taxa de absorção de água pela massa suplementada com fibras pode ser mais rápida ou mais lenta, respectivamente (HASEBORG; HIMMELSTEIN, 1988).

Pelos valores de absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar apresentados na Tabela 17, observa-se que a adição das diferentes fontes de fibra à farinha de trigo provocou um aumento na absorção, uma vez que a variação desta resposta nos ensaios estudados foi de 68,20% a 78,40% e a absorção da farinha de trigo isoladamente foi de 64,50%.

Este resultado (aumento da absorção de água) também foi encontrado por vários autores quando trabalharam com diferentes fontes de fibra: farelo de trigo (BASMAN; KÖKSEL, 1999; ÖZBOY; KÖKSEL, 1997; POMERANZ; SHOGREN; FINNEY, 1976; POMERANZ *et al.*, 1977; POSNER, 1991; ZHANG; MOORE, 1997), fibra de trigo (GÓMEZ *et al.*, 2003); LBG (WANG; ROSELL; BARBER, 2002), palha de trigo, casca de aveia (NAVICKIS; NELSEN, 1992), fibra de ervilha (GÓMEZ *et al.*, 2003; WANG; ROSELL; BARBER, 2002), fibra de laranja, fibra de cacau, fibra de café (GÓMEZ *et al.*, 2003), celulose (GÓMEZ *et al.*, 2003; POMERANZ *et al.*, 1977), farelo de centeio (LAURIKAINEN *et al.*, 1998), farelo de arroz (BARBER; BARBER; MARTÍNEZ., 1981; LAURIKAINEN *et al.*, 1998;

SHARMA; CHAUHAN, 2002), alginato,  $\kappa$ -carragena, xantana e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) (ROSELL; ROJAS; BARBER, 2001). Neste último trabalho citado, os autores explicaram que o aumento de absorção é esperado devido ao grande número de grupos hidroxila existentes na estrutura dos hidrocolóides, o que permite maior interação com a água através das ligações de hidrogênio.

O aumento da adição de farelo de trigo de 0% para níveis de até 15% (ÖZBOY; KÖKSEL, 1997; POMERANZ *et al.*, 1977; ZHANG; MOORE, 1997) ou de até 20% (BASMAN; KÖKSEL, 1999) resultou em um aumento da absorção de água. De acordo com Gómez *et al.* (2003), o aumento de 2% para 5% na adição da fibra de trigo levou a um notável aumento deste parâmetro. Quando o nível de farelo de trigo adicionado aumentou de 3 para 15%, o aumento observado foi de 80% para 102% (POMERANZ; SHOGREN; FINNEY, 1976). No entanto, Rao e Rao (1991) observaram que a absorção de água farinográfica aumentou somente a baixos níveis de incorporação de farelo de trigo na farinha (até 20%), mas a altos níveis (30% e 40%), uma tendência inversa foi constatada. Estes autores explicaram que a diminuição da absorção de água a altos níveis foi devido à interferência do farelo na formação do glúten, o que faz a massa ficar menos coesiva e elástica. Shenoy e Prakash (2002) não encontraram diferença na absorção de água da massa com adição de farelo de trigo até o nível de 15%.

Van-Hung e Morita (2004) realizaram um estudo onde farinha de trigo era substituída em 5, 10 e 15% com misturas de 92% de amidos de milho quimicamente modificados (amidos resistentes) e 8% de glúten vital. Eles observaram que os amidos de milho quimicamente modificados não cerosos provocaram uma diminuição da absorção de água farinográfica, enquanto que os amidos de milho quimicamente modificados cerosos provocaram um aumento deste parâmetro. Os autores relataram que uma maior absorção de água durante a mistura é uma característica típica de amidos cerosos. A estrutura ramificada da amilopectina permite uma maior penetração da água na estrutura.

A Tabela 18 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para este parâmetro farinográfico, baseando-se nos resultados de absorção de água apresentados na Tabela 17.

**Tabela 18:** Coeficientes de regressão para a resposta absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	73,88	0,09	854,35	<0,0001
FT (L)*	1,09	0,05	23,21	0,0002
FT (Q)*	-0,47	0,05	-9,69	0,0023
AR (L)	-0,14	0,05	-2,99	0,0581
AR (Q)*	-0,28	0,05	-5,70	0,0107
LBG (L)*	2,72	0,05	57,95	<0,0001
LBG (Q)	-0,03	0,05	-0,62	0,5806
FT x AR*	-0,25	0,06	-4,08	0,0265
FT x LBG*	-0,30	0,06	-4,90	0,0163
AR x LBG*	-0,35	0,06	-5,72	0,0106

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabela 18), observa-se que as diferentes fontes de fibras afetaram a absorção de água das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar, dentro da faixa estudada. Percebe-se que todos os fatores significativos que envolvem o amido resistente tiveram efeito negativo na absorção de água. Como o amido resistente utilizado é um amido de milho de alto teor de amilose, era de se esperar, de acordo com o trabalho de Van-Hung e Morita (2004), que esta fonte de fibra não contribuísse para o aumento da absorção de água.

Pelos valores dos coeficientes de regressão dos fatores estatisticamente significativos, observa-se que o fator que tem maior influência na absorção de

água é o fator linear da LBG, seguido pelo fator linear do farelo de trigo. Esta constatação revela que a influência das fontes de fibra na absorção de água farinográfica pode estar relacionada com o índice de absorção de água (IAA) das mesmas. Através da análise do IAA das fontes de fibra (Tabela 15), constatou-se que a fonte de fibra que possui maior capacidade de absorção de água é a LBG, seguida pelo farelo de trigo e amido resistente, respectivamente.

O modelo com as variáveis codificadas, incluindo os parâmetros estatisticamente significativos a  $p < 0,05$ , é expresso por:

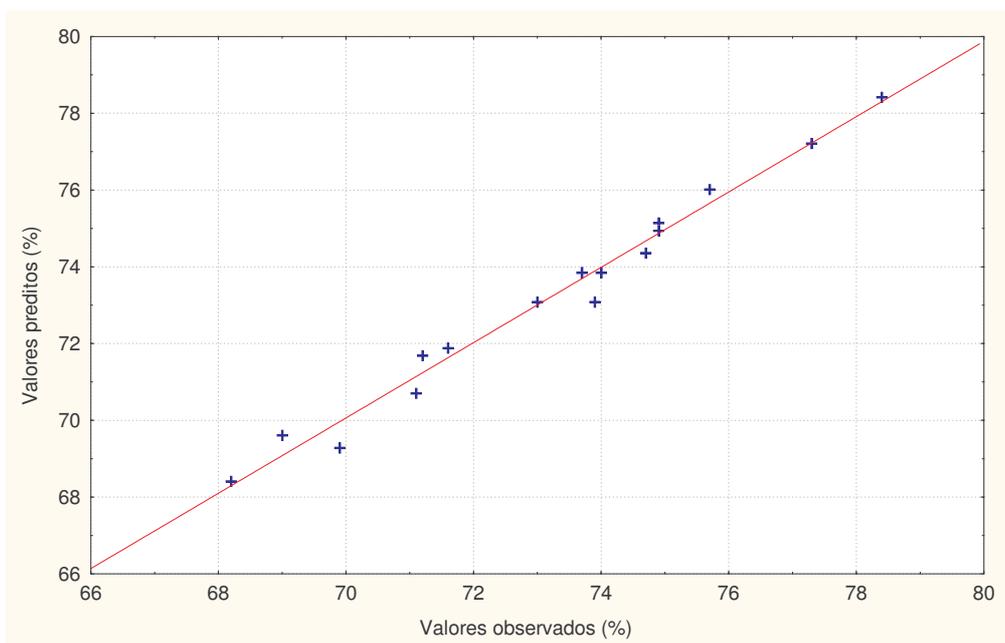
$$\text{Absorção de água} = 73,85 + 1,09 \text{ FT} - 0,47 \text{ FT}^2 - 0,27 \text{ AR}^2 + 2,72 \text{ LBG} - 0,25 \text{ FT AR} - 0,30 \text{ FT LBG} - 0,35 \text{ AR LBG} \quad (8)$$

A ANOVA (Tabela 19) para o modelo da absorção de água farinográfica apresenta uma variação explicada de 98,14% e no teste F, o valor calculado foi 24,06 vezes maior do que o valor tabelado. A Figura 5 apresenta os valores experimentais *versus* os valores preditos pelo modelo ajustado, mostrando uma boa concordância entre eles. No Anexo FA estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos.

**Tabela 19:** ANOVA para a resposta absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.

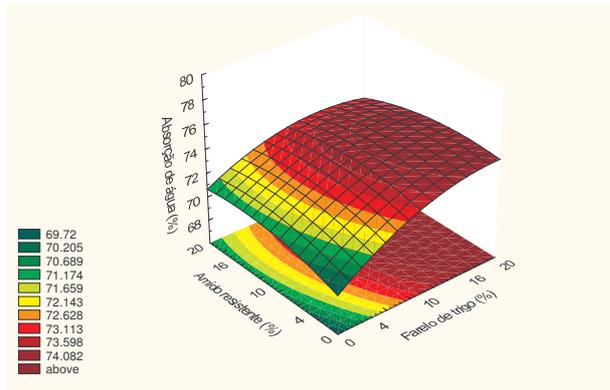
Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	122,48	7	17,50	75,54
resíduos	2,32	10	0,23	
falta de ajuste	2,23	7	0,32	
erro puro	0,09	3	0,03	
total	124,80	17		

$$\% \text{ variação explicada } (r^2) = 0,9814; F_{7; 10; 0,05} = 3,14$$

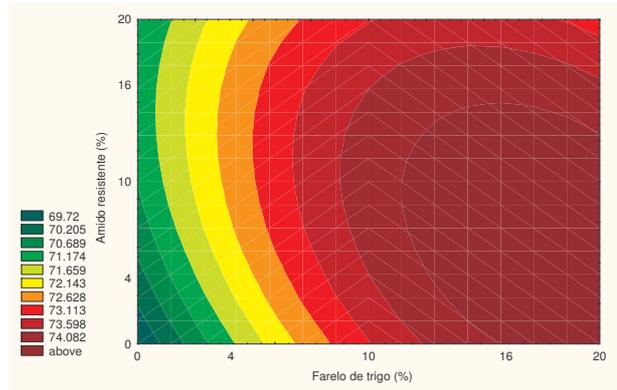


**Figura 5:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais de absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.

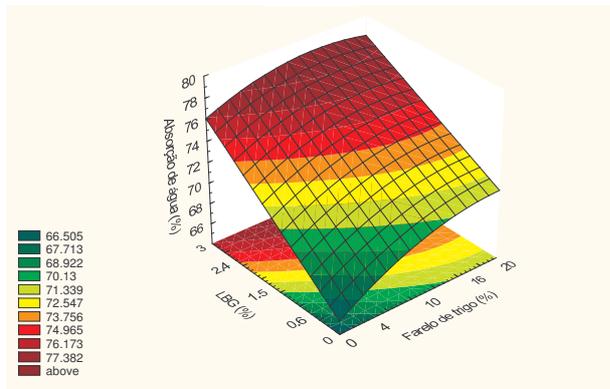
Pelas superfícies de resposta e curvas de contorno apresentadas na Figura 6 observa-se que há um aumento da absorção de água com o aumento da quantidade de LBG adicionada, dentro da faixa estudada. Esta observação também é válida para o farelo de trigo. Uma região de maior absorção pôde ser obtida, com uma combinação de farelo de trigo (10 a 20%) e LBG (2,4 a 3%). Nota-se o menor efeito do amido resistente neste parâmetro farinográfico.



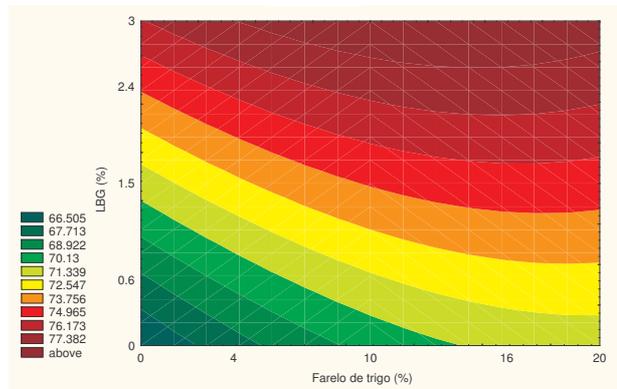
(a)



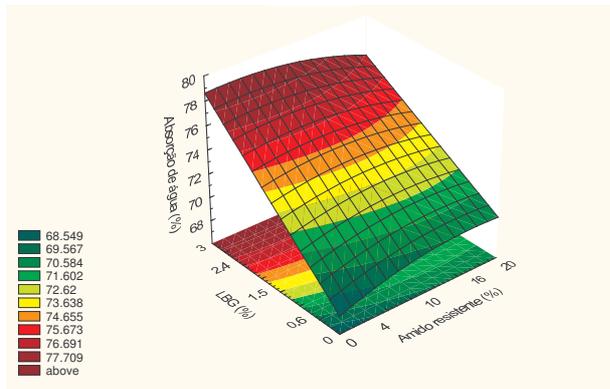
(b)



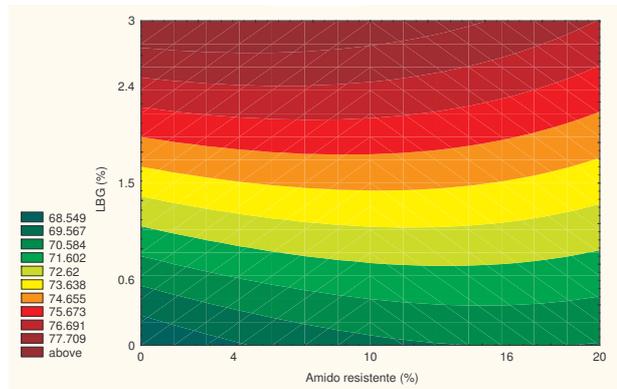
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 6:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a absorção de água das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

#### **4.1.3.2. Tempo de chegada**

O parâmetro tempo de chegada geralmente não é avaliado na maioria dos trabalhos encontrados na literatura que analisam a reologia da farinha de trigo adicionada de fibras. No entanto, neste trabalho percebeu-se uma notável modificação deste parâmetro pela adição de fibras e achou-se importante levá-lo em consideração.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 17, pode-se perceber que a adição das diferentes fontes de fibra alimentar à farinha de trigo retardou a chegada da curva do farinograma à linha das 500 UF. Este fato também pode ser observado pelos farinogramas apresentados nos Anexos BA - BE. Enquanto a farinha de trigo apresentou isoladamente um tempo de chegada de 1,75 min, os diferentes ensaios das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar apresentaram valores entre 1,75 min e 6,25 min. Navickis e Nelsen (1992) também encontraram um tempo de chegada maior para as farinhas de trigo que foram substituídas em 5, 10 e 15% por fontes de fibra alimentar (palha de trigo ou casca de aveia).

Um tempo de chegada extremamente curto indica que a hidratação ocorre rapidamente enquanto que um longo tempo de chegada indica que a água está sendo absorvida pelos vários componentes presentes na farinha a uma taxa bem mais baixa (FARIDI, 1985).

Van-Hung e Morita (2004) observaram que a substituição com 5 a 15% de misturas de 92% de amido resistente (quimicamente modificado) e 8% de glúten vital na farinha causou uma diminuição do tempo de chegada da mesma, o que está de acordo com o efeito negativo encontrado para o fator linear do amido resistente apresentado na Tabela 20.

**Tabela 20:** Coeficientes de regressão para a resposta tempo de chegada das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	4,64	0,12	37,18	<0,0001
FT (L)*	1,41	0,07	20,91	0,0002
FT (Q)*	-0,29	0,07	-4,18	0,0250
AR (L)*	-0,25	0,07	-3,63	0,0360
AR (Q)	-0,16	0,07	-2,29	0,1057
LBG (L)*	0,23	0,07	3,43	0,0415
LBG (Q)	0,10	0,07	1,48	0,2356
FT x AR	-0,09	0,09	-1,06	0,3667
FT x LBG	-0,09	0,09	-1,06	0,3667
AR x LBG	0,03	0,09	0,35	0,7471

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabela 20), observa-se que as diferentes fontes de fibra afetaram o tempo de chegada das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar, dentro da faixa estudada. O modelo com as variáveis codificadas, incluindo os parâmetros estatisticamente significativos a  $p < 0,05$ , é expresso por:

$$\text{Tempo de chegada} = 4,59 + 1,41 \text{ FT} - 0,28 \text{ FT}^2 - 0,25 \text{ AR} + 0,23 \text{ LBG} \quad (9)$$

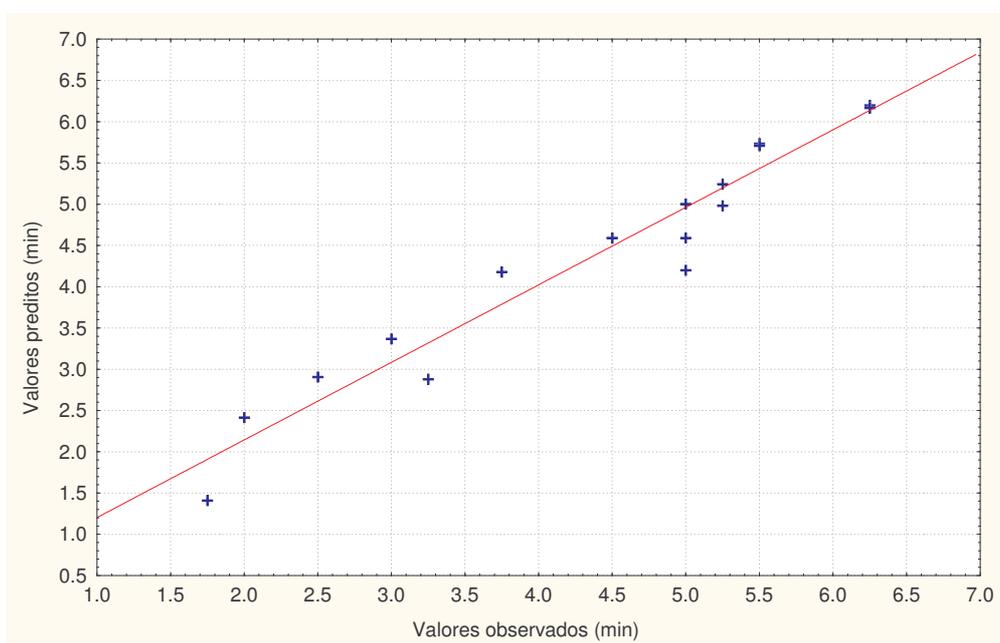
O modelo para esta resposta, pôde ser obtido, uma vez que sua ANOVA apresentou uma variação explicada de 93,97% e no teste F, o valor calculado foi 23,75 vezes maior do que o tabelado. A Tabela 21 mostra estas constatações.

**Tabela 21:** ANOVA para a resposta tempo de chegada das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.

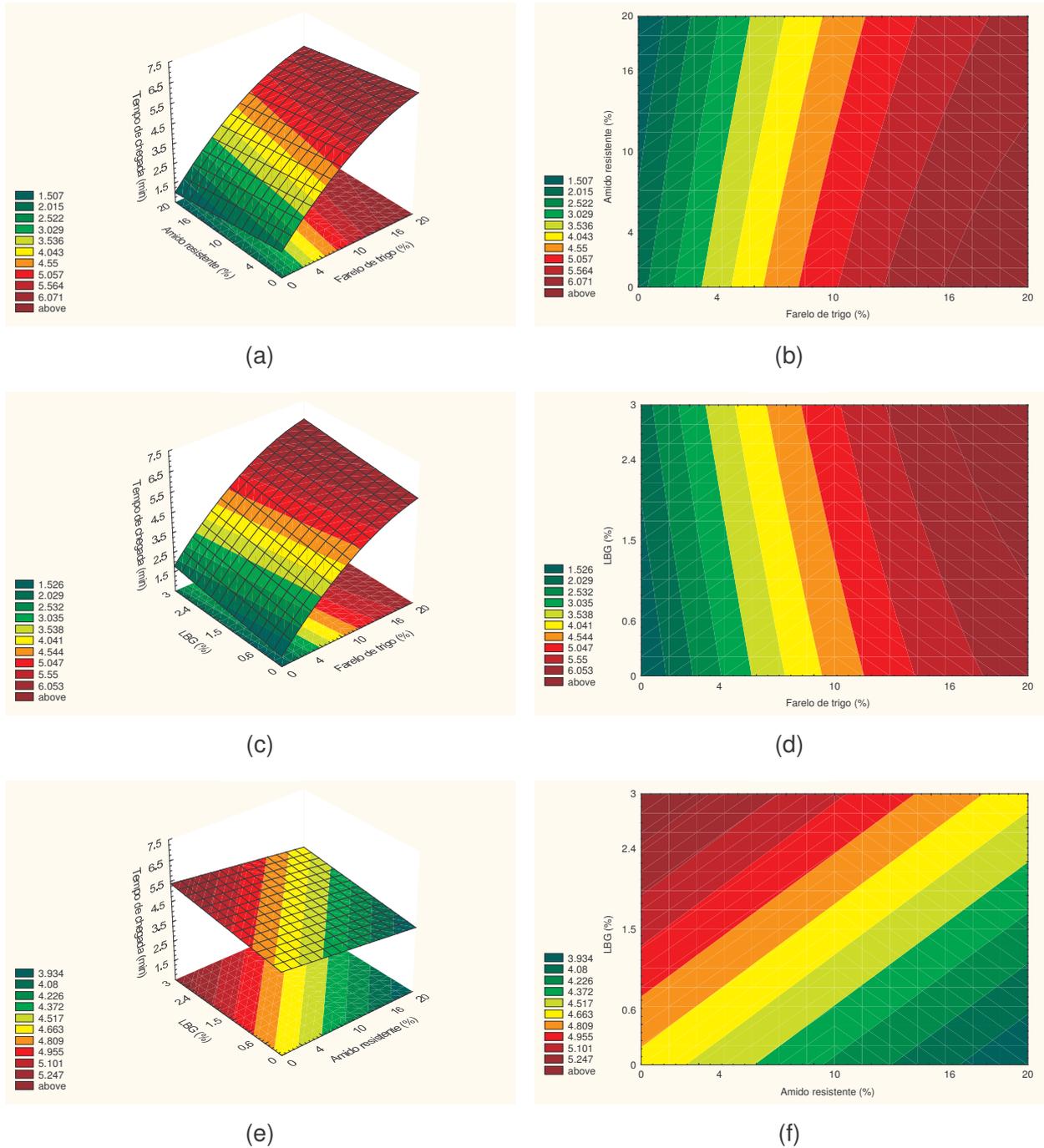
Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	29,98	4	7,50	75,54
resíduos	1,92	13	0,15	
falta de ajuste	1,73	10	0,17	
erro puro	0,19	3	0,06	
total	31,91	17		

$$\% \text{ variação explicada } (r^2) = 0,9397; F_{4; 13; 0,05} = 3,18$$

O bom ajuste dos dados ao modelo predito pode ser observado na Figura 7, onde os valores experimentais são comparados com os valores preditos. No Anexo FA estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos.



**Figura 7:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do tempo de chegada das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.



**Figura 8:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o tempo de chegada das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Através das superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo (Figura 8), observa-se que o tempo de chegada aumentou com o incremento da adição de farelo de trigo e de LBG e diminuiu com o aumento da adição de amido resistente. É possível verificar que adição de farelo de trigo acima de 10%, amido resistente abaixo de 10% e LBG acima de 1,5% proporcionam tempos de chegada mais longos, dentro da faixa estudada. Constata-se que o farelo de trigo teve maior influência neste parâmetro farinográfico em relação às demais fontes de fibra alimentar (amido resistente e LBG).

#### **4.1.3.3. Tempo de desenvolvimento da massa**

O parâmetro do farinograma tempo de desenvolvimento da massa também foi afetado pela adição das diferentes fontes de fibra alimentar à farinha de trigo. Os valores para esta resposta ficaram entre 5,75 min e 10,00 min, enquanto que este valor foi de 9,00 min para a farinha de trigo isoladamente.

De acordo com Gómez *et al.* (2003), o tempo de desenvolvimento da massa avaliado em um consistograma sempre aumentou como consequência da adição das fibras, embora em diferentes extensões, dependendo da origem da fibra e da sua particular composição. A fibra de trigo, que possui um alto conteúdo de fibra insolúvel, provocou um aumento menor neste parâmetro em relação às demais fibras (laranja, cacau e café), que possuíam um maior conteúdo de fibras solúveis.

Rao e Rao (1991), Shenoy e Prakash (2002) e Wootton e Shams-Ud-Din (1986) também encontraram que o farelo de trigo aumentou o tempo de desenvolvimento da massa ao ser incorporado em níveis de até 40%, 15% e 5%, respectivamente. No entanto, nos estudos de Özboy e Köksel (1997) e Zhang e Moore (1997), o aumento da quantidade de farelo de trigo em até 15% provocou um decréscimo do TDM da farinha. Neste último trabalho, os autores constataram que quanto maior foi o nível de substituição, menor foi o valor deste parâmetro. Basman e Köksel (1999) também verificaram um decréscimo do tempo de desenvolvimento com a adição de farelo, em até 15%. Porém, estes autores

observaram um leve aumento deste parâmetro quando o farelo de trigo foi adicionado a 20%.

Van-Hung e Morita (2004) observaram que a substituição com 5 a 15% de misturas de 92% de amido resistente (quimicamente modificado) e 8% de glúten vital na farinha provocou uma leve redução do TDM da mesma.

Wang, Rosell e Barber (2002) verificaram que a LBG não modificou o TDM, ao ser incorporada à farinha ao nível de 3%.

De acordo com Chen, Rubenthaler e Schanus (1988), durante a mistura, o glúten é hidratado e forma uma estrutura “fibrilar” ou “de rede”, por interações intra e intermoleculares de pontes dissulfídricas dentro das subunidades glutenina e gliadina. O aumento do tempo de mistura indica que as fibras retardam as taxas de hidratação e desenvolvimento do glúten. Estas mudanças podem ser explicadas, ao menos em parte, pela diluição do glúten pelas fibras.

Baseando-se nos resultados de tempo de desenvolvimento da massa apresentados na Tabela 17, pode-se verificar a possibilidade de um modelo de 2ª ordem. Assim, a Tabela 22 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para este parâmetro farinográfico.

**Tabela 22:** Coeficientes de regressão para a resposta tempo de desenvolvimento da massa das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,37	0,07	102,25	<0,0001
FT (L)*	0,84	0,04	21,47	0,0002
FT (Q)	-0,02	0,04	-0,39	0,7203
AR (L)*	-0,29	0,04	-7,37	0,0052
AR (Q)	-0,02	0,04	-0,39	0,7203
LBG (L)*	0,51	0,04	13,14	0,0010
LBG (Q)*	0,21	0,04	5,05	0,0150
FT x AR	-0,09	0,05	-1,84	0,1635
FT x LBG	0,16	0,05	3,06	0,0549
AR x LBG	-0,03	0,05	-0,61	0,5836

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Os coeficientes de regressão apresentados na Tabela 22, conjuntamente com os valores de erro padrão e t, demonstram a influência dos fatores lineares do farelo de trigo, amido resistente e LBG, além da influência do fator quadrático desta última fonte de fibra alimentar sobre o tempo de desenvolvimento da massa.

A análise de variância (Tabela 23) correspondente ao modelo para o tempo de desenvolvimento da massa indica que a variação explicada (89,88%) e o F calculado (9,08 vezes maior que o F tabelado) são adequados para a obtenção do mesmo, o qual é apresentado pela Equação 10.

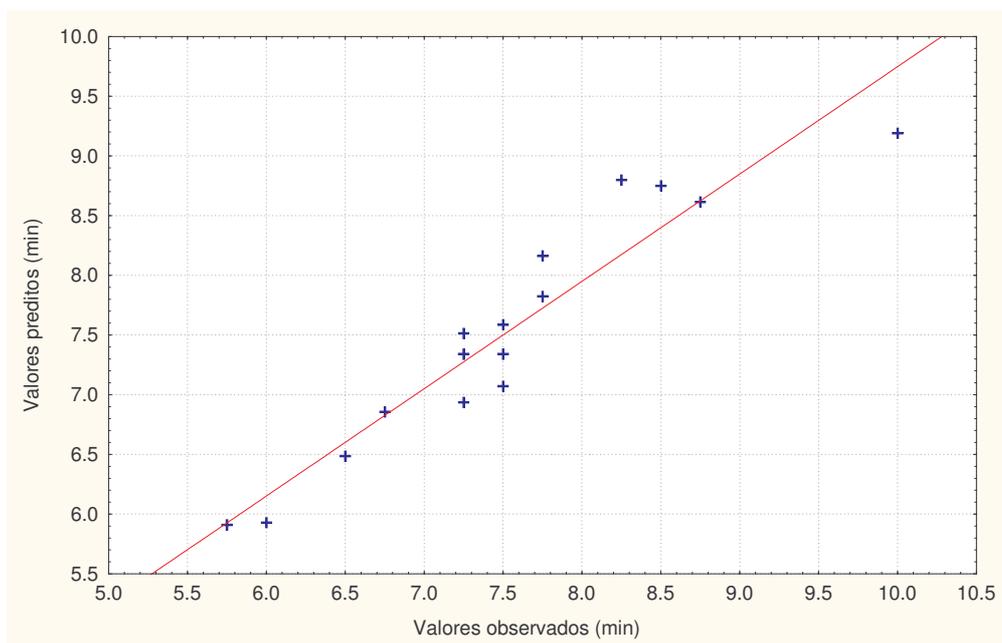
**Tabela 23:** ANOVA para a resposta tempo de desenvolvimento da massa das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	14,94	4	3,74	28,88
resíduos	1,68	13	0,13	
falta de ajuste	1,62	10	0,16	
erro puro	0,06	3	0,02	
total	16,63	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8988;  $F_{4; 13; 0,05} = 3,18$

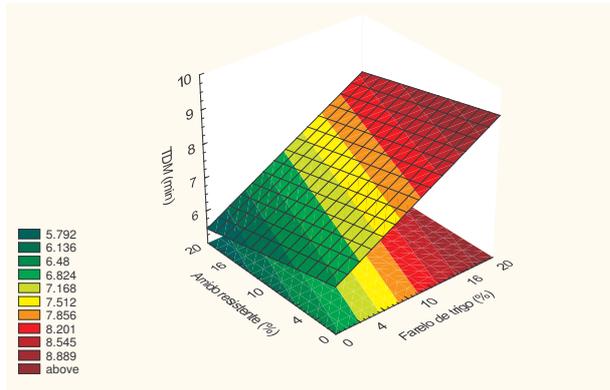
$$\text{TDM} = 7,34 + 0,84 \text{ FT} - 0,29 \text{ AR} + 0,51 \text{ LBG} + 0,21 \text{ LBG}^2 \quad (10)$$

Pela Figura 9, é possível ter uma melhor visualização do desvio ocorrido. No Anexo FA estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos.

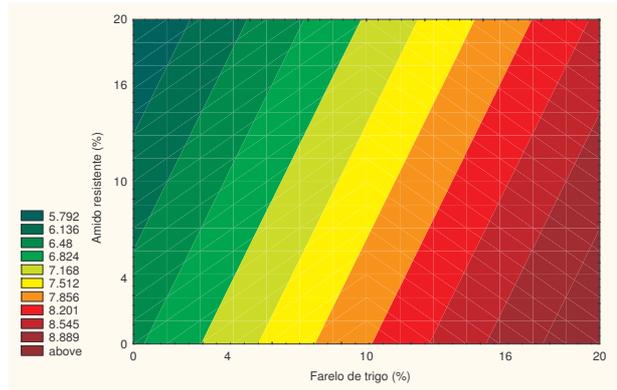


**Figura 9:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do tempo de desenvolvimento da massa das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.

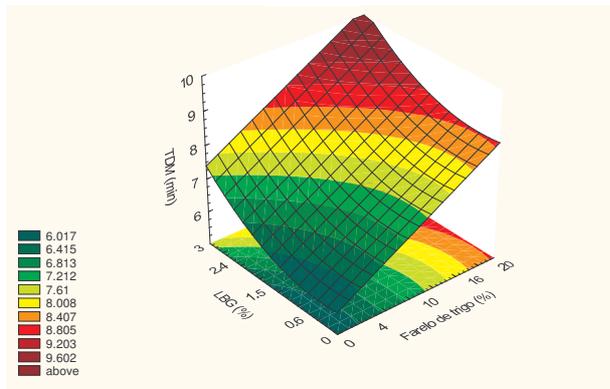
Através das superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo do tempo de desenvolvimento da massa (Figura 10) pôde-se observar que as fontes de fibra tiveram efeitos semelhantes aos do tempo de chegada. O TDM aumentou com o aumento da adição de farelo de trigo e de LBG e diminuiu com o aumento da adição de amido resistente. É possível verificar que adição de farelo de trigo acima de 10%, amido resistente abaixo de 10% e LBG acima de 2,4% proporcionam desenvolvimento mais tardio da massa, dentro da faixa estudada.



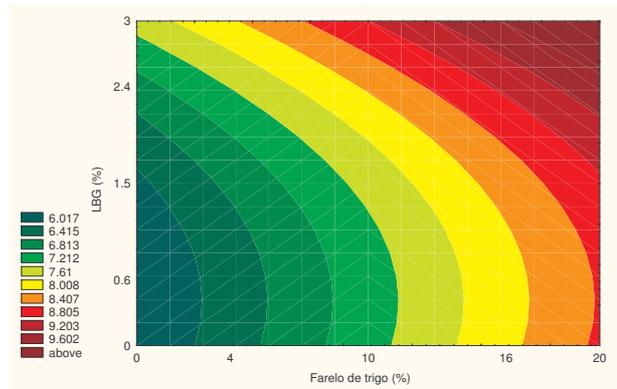
(a)



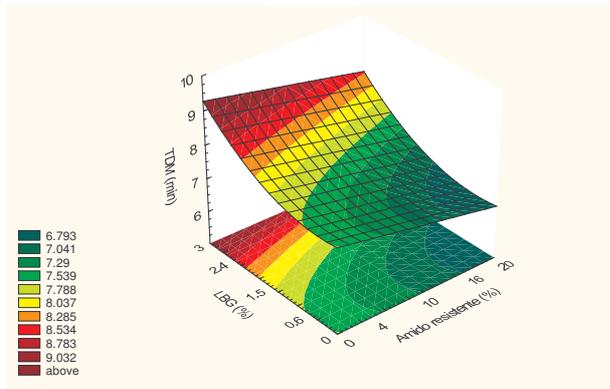
(b)



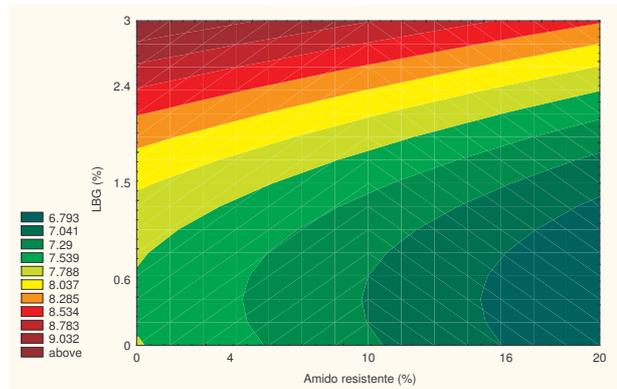
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 10:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o tempo de desenvolvimento da massa das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

#### **4.1.3.4. Tempo de saída**

Como o parâmetro tempo de chegada, o parâmetro tempo de saída farinográfico também não é geralmente avaliado na maioria dos trabalhos encontrados na literatura que analisam a reologia da farinha de trigo adicionada de fibras.

Os valores deste parâmetro nos ensaios realizados (Tabela 17) ficaram entre 8,25 e 11,75 min, o que demonstra que a adição das fibras conjuntamente levou a uma antecipação da saída da curva farinográfica da linha das 500 UF, uma vez que o tempo de saída da farinha isoladamente foi de 14,00 min.

Não foi possível estabelecer um modelo para esta resposta em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. A variação explicada do modelo foi de 61,37%. Este baixo valor do  $r^2$  foi ocasionado principalmente por uma falta de ajuste do modelo obtido. A Tabela 24 mostra que os fatores lineares do farelo de trigo e da LBG tiveram efeito contrário ao do amido resistente. Enquanto esta última fonte contribuiu para a redução do tempo de saída, as primeiras contribuíram para o aumento desta resposta. Mas, mesmo assim, o tempo de chegada das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar ficou abaixo do valor encontrado para a farinha isoladamente.

**Tabela 24:** Coeficientes de regressão para a resposta tempo de saída das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p – valor
Média*	10,06	0,26	39,08	<0,0001
FT (L)*	0,68	0,14	4,87	0,0166
FT (Q)	0,09	0,14	0,62	0,5769
AR (L)*	-0,53	0,14	-3,82	0,0316
AR (Q)	0,09	0,14	0,62	0,5769
LBG (L)*	0,46	0,14	3,32	0,0449
LBG (Q)	0,31	0,14	2,15	0,1208
FT x AR	0,28	0,18	1,54	0,2204
FT x LBG	-0,03	0,18	-0,17	0,8747
AR x LBG	-0,47	0,18	-2,57	0,0823

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.3.5. Estabilidade

Pelos valores apresentados na Tabela 17 pode-se observar que a adição das diferentes fontes de fibra à farinha causou um decréscimo da estabilidade da farinha de trigo. Enquanto que a farinha de trigo isoladamente apresentou uma estabilidade de 12,25 min, o sistema farinha de trigo e fontes de fibra apresentou valores que variaram entre 4,75 e 8,75 min.

Como ocorrido com o tempo de saída, não foi possível estabelecer um modelo para esta resposta em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. A variação explicada do modelo foi de 39,79%. A falta de ajuste do modelo obtido foi a principal responsável pelo baixo valor do  $r^2$  obtido. A Tabela 25 mostra que somente o fator linear do farelo de trigo teve efeito significativo neste parâmetro farinográfico. Observa-se que esta fonte de fibra contribuiu para a redução da estabilidade, enquanto que a LBG e o amido resistente não interferiram neste

parâmetro farinográfico. As constatações relacionadas ao farelo de trigo e à LBG estão de acordo com os relatos da literatura.

Basman e Köksel (1999), Özboy e Köksel (1997) e Wootton e Shams-Ud-Din (1986) encontraram que a estabilidade da farinha de trigo diminuiu com a adição de farelo de trigo em até 20%, 5% e 15%, respectivamente. A diminuição da estabilidade da mistura pode ser causada pelo rompimento da rede de glúten pelas partículas do farelo de trigo (ZHANG; MOORE, 1997).

Wang, Rosell e Barber (2002) verificaram que a LBG a 3% não modificou a estabilidade da farinha de trigo.

Van-Hung e Morita (2004) observaram que a substituição de 5 a 15% de misturas de 92% de amido resistente (quimicamente modificado) e 8% de glúten vital na farinha causou um aumento da estabilidade da mesma.

**Tabela 25:** Coeficientes de regressão para a resposta estabilidade das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	5,42	0,29	18,36	0,0004
FT (L)*	-0,74	0,16	-4,60	0,0193
FT (Q)	0,38	0,17	2,31	0,1037
AR (L)	-0,29	0,16	-1,80	0,1704
AR (Q)	0,25	0,17	1,51	0,2271
LBG (L)	0,23	0,16	1,45	0,2437
LBG (Q)	0,21	0,17	1,25	0,3004
FT x AR	0,38	0,21	1,80	0,1704
FT x LBG	0,06	0,21	0,30	0,7843
AR x LBG	-0,50	0,21	-2,39	0,0964

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

#### **4.1.3.6. Índice de tolerância à mistura (ITM)**

A adição das diferentes fontes de fibra à farinha de trigo provocou um leve aumento desta resposta. Enquanto o ITM da farinha de trigo isoladamente foi de 30 UF, os valores das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar ficaram entre 40 e 80, indicando que as fibras utilizadas diminuíram a tolerância da farinha de trigo à mistura (Tabela 17).

Wang, Rosell e Barber (2002) verificaram grandes efeitos das fibras adicionadas no índice de tolerância à mistura da massa. Este parâmetro foi reduzido pela adição das fibras analisadas (LBG, fibra de ervilha e inulina), e a extensão desta diminuição dependeu da fibra estudada. Özboy e Köksel (1997) e Zhang e Moore (1997) encontraram um aumento do ITM pelo aumento do nível de substituição em até 15% de farelo de trigo enquanto que Shenoy e Prakash (2002) verificaram aumento somente ao nível de 5% de incorporação. Estes últimos autores constataram que, com a adição de 10 e 15% de farelo de trigo, este parâmetro teve seu valor reduzido. Basman e Köksel (1999) não verificaram mudanças aparentes no ITM de farinhas suplementadas com farelo de trigo em até 20%.

Van-Hung e Morita (2004) não observaram diferenças entre o ITM de farinhas que foram ou não substituídas por 5 a 15% de misturas de 92% de amido resistente (quimicamente modificado) e 8% de glúten vital.

Quanto maior o ITM, menor é a resistência do glúten ao dano mecânico. De acordo com Chen, Rubenthaler e Schanus (1988) esta resistência não pode ser explicada com base na diluição e sim pela interação entre fibras e glúten. Estes autores, ao trabalharem com celulose e fibra de maçã, verificaram que a fibra provocou um fortalecimento da rede de glúten, provavelmente pela ligação da mesma ao glúten. No entanto, esta explicação contradiz os resultados encontrados neste trabalho, os quais sugerem que as fibras interagem de forma negativa com o glúten, diminuindo sua resistência ao dano mecânico.

Baseando-se nos resultados do índice de tolerância à mistura apresentados na Tabela 17, pode-se verificar a possibilidade de um modelo de 2ª ordem. Assim, a Tabela 26 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para este parâmetro farinográfico.

**Tabela 26:** Coeficientes de regressão para a resposta índice de tolerância à mistura das combinações da farinha de trigo e fontes de fibra alimentar.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	70,08	2,69	26,04	<0,0001
FT (L)*	5,39	1,46	3,70	0,0061
FT (Q)*	-7,42	1,52	-4,89	0,0012
AR (L)	2,70	1,46	1,85	0,1018
AR (Q)	-2,11	1,52	-1,39	0,2010
LBG (L)	1,46	1,46	1,00	0,3448
LBG (Q)*	-7,42	1,52	-4,89	0,0012
FT x AR*	-5,00	1,91	-2,62	0,0305
FT x LBG*	5,00	1,91	2,62	0,0305
AR x LBG	-2,50	1,91	-1,31	0,2260

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Os coeficientes de regressão apresentados na Tabela 26, conjuntamente com os valores de erro padrão e t, demonstram a influência dos fatores linear e quadrático do farelo de trigo, além da influência do fator quadrático da LBG e de interações do farelo de trigo com o amido resistente e com a LBG sobre o índice de tolerância à mistura.

A análise de variância (Tabela 27) correspondente ao modelo para o índice de tolerância à mistura indica que a variação explicada (80,20%) e o F calculado (3,13 vezes maior que o F tabelado) são adequados para obtenção do mesmo, o qual é apresentado pela Equação 11.

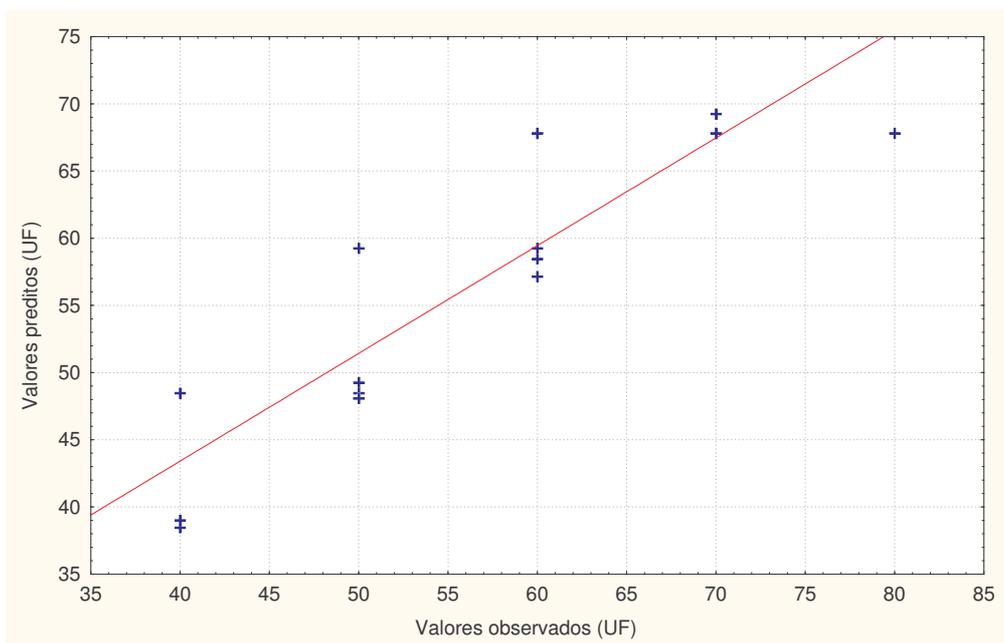
**Tabela 27:** ANOVA para a resposta índice de tolerância à mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	1893,65	5	378,73	9,72
resíduos	467,46	12	38,95	
falta de ajuste	267,46	9	29,72	
erro puro	200,00	3	66,67	
total	2361,11	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8020;  $F_{5; 12; 0,05} = 3,11$

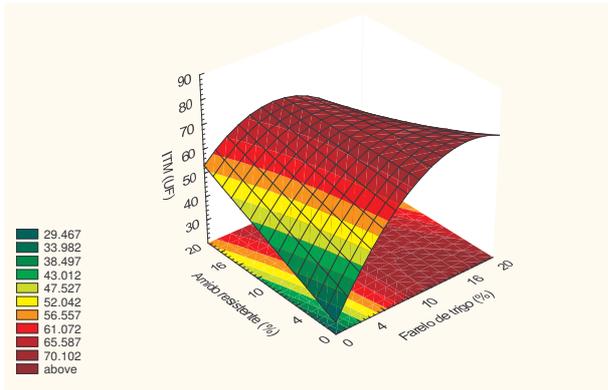
$$\text{ITM} = 67,80 + 5,39 \text{ FT} - 6,97 \text{ FT}^2 - 6,97 \text{ LBG}^2 - 5,00 \text{ FT AR} + 5,00 \text{ FT LBG} \quad (11)$$

Pela Figura 11, é possível ter uma melhor visualização do desvio ocorrido. No Anexo FB estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos.

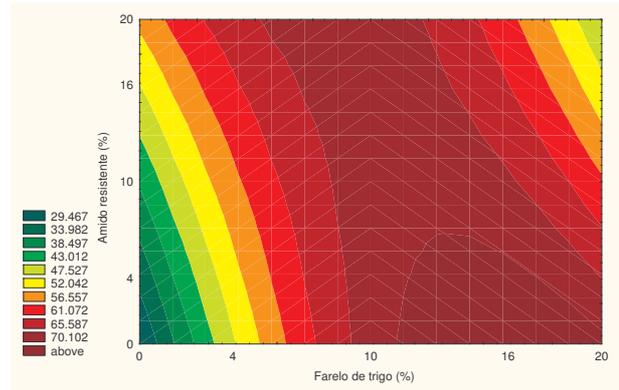


**Figura 11:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do índice de tolerância à mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar.

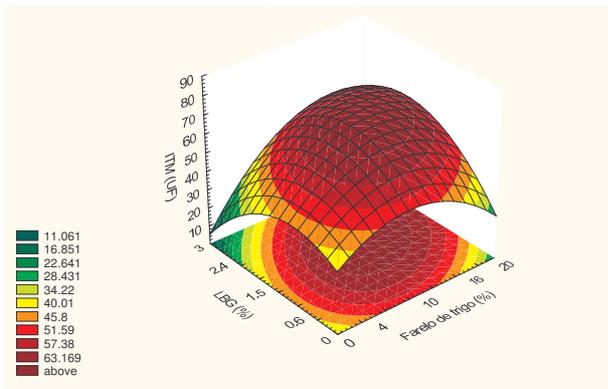
Através das superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo (Figura 12) pôde-se visualizar as concentrações de adição das fontes de fibra que proporcionam maiores ITM. É possível verificar que adição de farelo de trigo entre 7 e 17% e de LBG entre 0,9 e 2,4% proporcionam a máxima perda de tolerância da farinha de trigo à mistura. Portanto, para um menor enfraquecimento da rede de glúten, pode ser interessante trabalhar fora destas faixas. Constata-se que o amido resistente interferiu pouco neste parâmetro farinográfico.



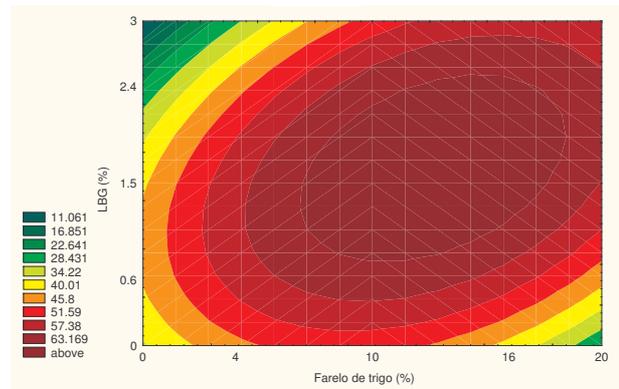
(a)



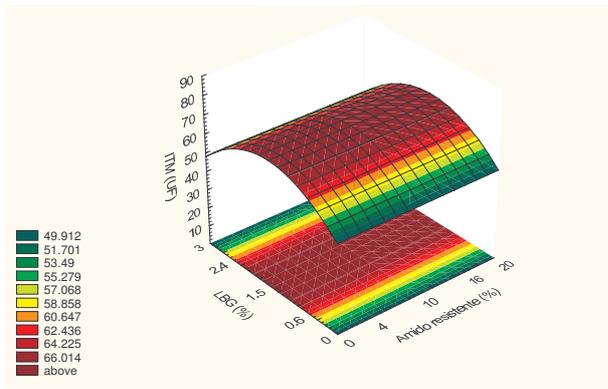
(b)



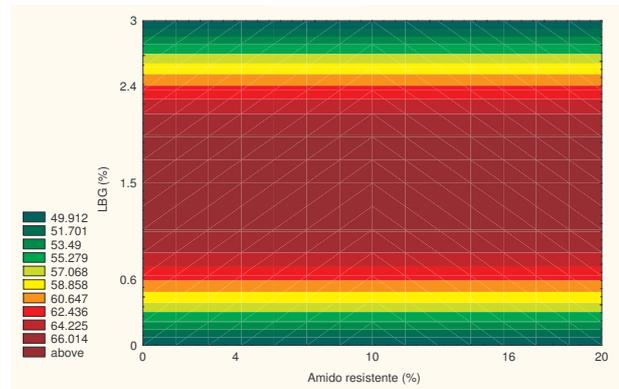
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 12:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o índice de tolerância à mistura das combinações de farinha e fontes de fibra alimentar em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

## 4.2. Produção dos pães

A Tabela 28 apresenta os valores de alguns parâmetros observados durante a produção dos pães: tempo de mistura rápida e tempo de fermentação.

**Tabela 28:** Tempo de mistura rápida e tempo de fermentação na produção dos pães.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	TMR (min)	TF (h)
1	-1	-1	-1	1,83	1,50
2	+1	-1	-1	2,93	1,79
3	-1	+1	-1	1,60	2,21
4	+1	+1	-1	3,18	2,04
5	-1	-1	+1	1,60	1,54
6	+1	-1	+1	3,07	1,80
7	-1	+1	+1	1,35	2,17
8	+1	+1	+1	2,32	1,96
9	-1,68	0	0	1,32	1,75
10	+1,68	0	0	3,10	1,87
11	0	-1,68	0	2,51	1,63
12	0	+1,68	0	2,64	1,54
13	0	0	-1,68	2,25	1,54
14	0	0	+1,68	1,41	1,88
15	0	0	0	1,91	1,80
16	0	0	0	2,05	1,62
17	0	0	0	2,33	1,50
18	0	0	0	2,09	1,88

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); TMR = tempo de mistura rápida; TF = tempo de fermentação.

#### **4.2.1. Tempo de mistura rápida**

A etapa de mistura é a última etapa do processamento na qual as propriedades da massa do pão podem ser significativamente alteradas pelo padeiro. As principais funções da mistura são transformar os ingredientes combinados em uma mistura homogênea, desenvolver a matriz do glúten e incorporar ar. Somente depois que a massa do pão é desenvolvida até o seu ponto ótimo é que todo o potencial panificável da massa pode ser alcançado (FARIDI; FAUBION, 1990).

Os valores obtidos do tempo de mistura rápida nos tratamentos do planejamento experimental variaram entre 1,32 min e 3,18 min (Tabela 28). A variação do tempo de mistura pode ter sido devido à variação da quantidade e do tipo de fibra presente, o que diretamente interferiu na quantidade de água adicionada à formulação e na forma como a mesma foi absorvida e deixada livre para o desenvolvimento da rede de glúten. O aumento da viscosidade também pode ser um dos fatores envolvidos na modificação do tempo de mistura. De acordo com Guillon e Champ (2000), a fibra solúvel dependendo de seu peso molecular e concentração pode contribuir para aumentar a viscosidade da fase líquida no sistema alimentício.

Pela análise dos coeficientes de regressão apresentada na Tabela 29 verifica-se que as três fontes de fibra alimentar tiveram influência significativa nesta resposta. As fibras interferem no tempo de mistura, provavelmente devido a suas propriedades físico-químicas (GUILLON; CHAMP, 2000).

**Tabela 29:** Coeficientes de regressão para a resposta tempo de mistura rápida na produção dos pães.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	2,09	0,09	23,74	0,0002
FT (L)*	0,59	0,05	12,43	0,0011
FT (Q)	0,05	0,05	0,94	0,4187
AR (L)	-0,06	0,05	-1,20	0,3177
AR (Q)*	0,17	0,05	3,52	0,0390
LBG (L)*	-0,19	0,05	-4,02	0,0277
LBG (Q)	-0,09	0,05	-1,79	0,1713
FT x AR	0,00	0,06	-0,04	0,9706
FT x LBG	-0,03	0,06	-0,46	0,6763
AR x LBG	-0,13	0,06	-2,06	0,1310

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

O modelo obtido, levando em consideração as variáveis significativas a  $p < 0,05$ , é:

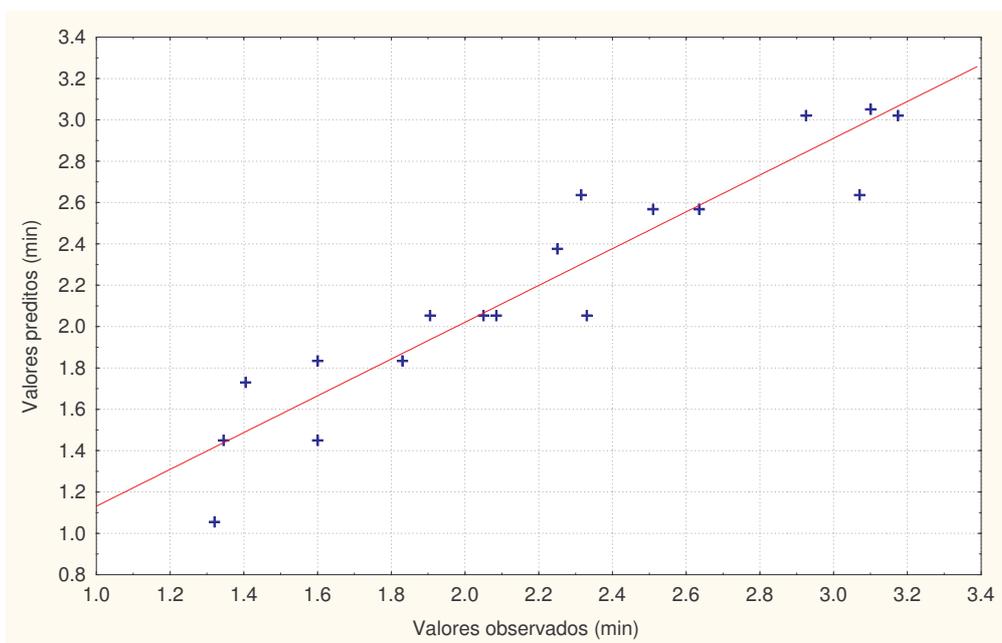
$$\text{Tempo de mistura rápida} = 2,05 + 0,59 \text{ FT} + 0,18 \text{ AR}^2 - 0,19 \text{ LBG} \quad (12)$$

A Tabela 30 da ANOVA demonstra que houve um bom ajuste do modelo, sendo a porcentagem de variação explicada igual a 88,97% e o F calculado 11,28 vezes maior que o F tabelado. A Figura 13 apresenta os resultados experimentais *versus* os resultados obtidos pelo modelo. No Anexo FC estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos.

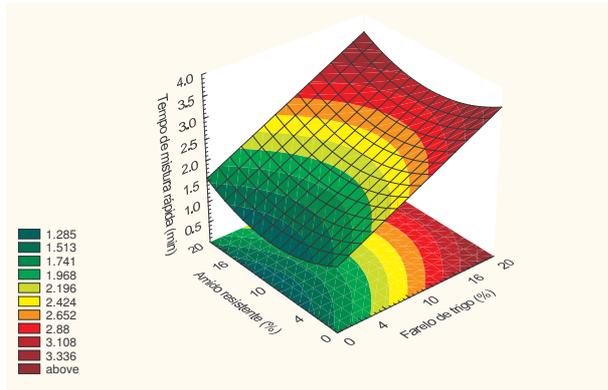
**Tabela 30:** ANOVA para a resposta tempo de mistura rápida na produção dos pães.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	5,76	3	1,92	37,66
resíduos	0,71	14	0,05	
falta de ajuste	0,62	11	0,06	
erro puro	0,09	3	0,03	
total	6,48	17		

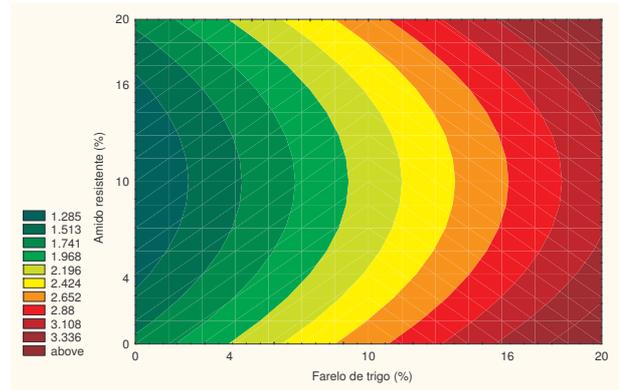
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8897;  $F_{3; 14; 0,05} = 3,34$



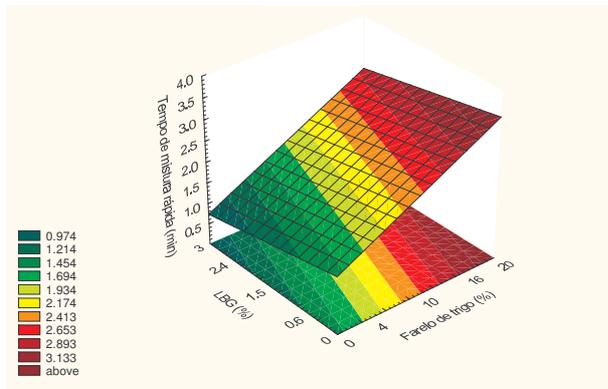
**Figura 13:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do tempo de mistura rápida.



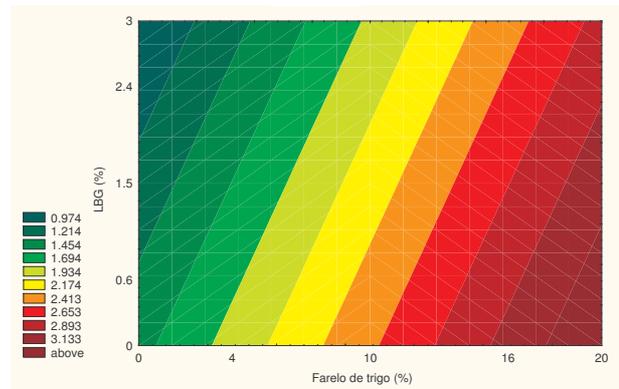
(a)



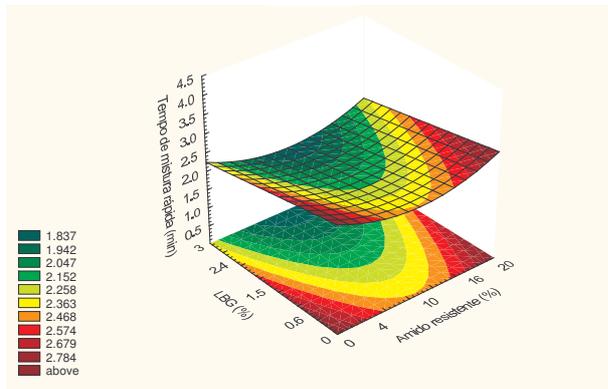
(b)



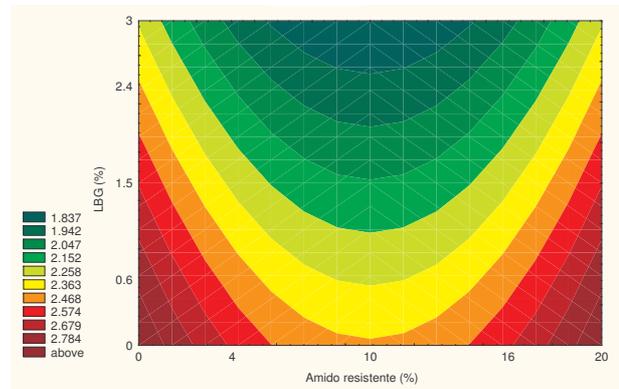
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 14:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o tempo de mistura rápida em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Através das superfícies de resposta e curvas de contorno do modelo do tempo de mistura rápida (Figura 14) observa-se que o farelo de trigo contribuiu para o aumento desta resposta à medida que concentrações maiores desta fonte de fibra alimentar eram empregadas, o que está de acordo com relatos encontrados na literatura. Pomeranz, Shogren e Finney (1976) observaram que a adição de farelo de trigo (3 a 15%) causou um aumento do tempo de mistura da massa dos pães. Estes autores explicaram que este aumento está provavelmente relacionado ao aumento da absorção de água. Posner (1991) também relatou aumento do tempo de mistura ao incorporar o farelo de trigo na massa de pão.

Uma região de minimização do tempo de mistura rápida das massas dos pães pôde ser obtida, sendo constituída por uma faixa de combinações de concentrações de amido resistente (4 a 16%) e LBG (maior que 2,4%), quando o nível de farelo de trigo é fixado em 10%.

#### **4.2.2. Tempo de fermentação**

Grandes mudanças que ocorrem durante a fermentação levam ao desenvolvimento da estrutura da massa e formação das células de gás. A fermentação das leveduras gera gás carbônico e a massa expande devido ao aumento da pressão das células de gás (CHINACHOTI; VODOVOTZ, 2001).

Não foi possível estabelecer um modelo para o tempo de fermentação das massas em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) (Tabela 31). Isto indica que nenhuma fonte de fibra teve interferência nesta medida, ou seja, independentemente das quantidades adicionadas de farelo de trigo, amido resistente e LBG, o tempo de fermentação das massas ficou dentro do intervalo do valor médio e seu erro padrão.

De acordo com Cauvain (2003), a adição de fibra tende a aumentar o tempo de fermentação final, o que pode ser contra-balanceado pela adição de 1% a mais de levedura no processo de panificação pelo método direto.

Wang, Rosell e Barber (2002) verificaram que a LBG melhorou as características da massa, permitindo longo tempo de fermentação. Hidrocolóides melhoram a estabilidade da massa durante a fermentação, e, como consequência, fermentações longas podem ser possíveis. Hidrocolóides são, desta forma, aditivos com enorme perspectiva para serem usados em processo que requerem fermentações tanto curtas como longas (ROSELL; ROJAS; BARBER, 2001).

**Tabela 31:** Coeficientes de regressão para a resposta tempo de fermentação na produção dos pães.

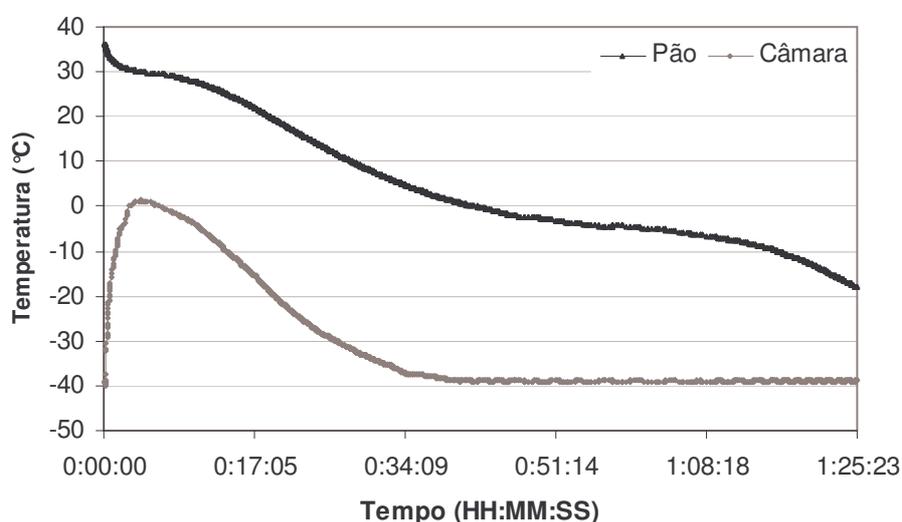
	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	1,69	0,08	19,98	0,0003
FT (L)	0,03	0,05	0,60	0,5910
FT (Q)	0,08	0,05	1,61	0,2051
AR (L)	0,12	0,05	2,56	0,0832
AR (Q)	0,00	0,05	-0,06	0,9577
LBG (L)	0,04	0,05	0,76	0,5002
LBG (Q)	0,04	0,05	0,87	0,4481
FT x AR	-0,12	0,06	-1,93	0,1490
FT x LBG	-0,01	0,06	-0,16	0,8855
AR x LBG	-0,02	0,06	-0,37	0,7391

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

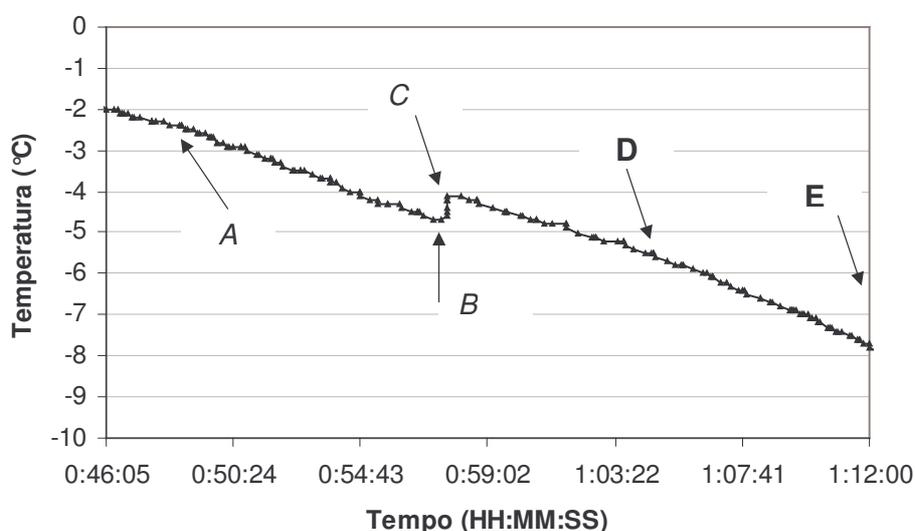
### 4.2.3. Congelamento

Os históricos das temperaturas medidas dentro da câmara de congelamento estão apresentados no Anexo C. O comportamento da temperatura do centro do miolo do pão pré-assado e da câmara ao longo do período de congelamento, o qual está apresentado na Figura 15, foi o mesmo para todos os ensaios realizados (Anexos DA - DE).



**Figura 15:** Perfil da temperatura do centro do miolo do pão pré-assado e da câmara ao longo do período de congelamento.

Observou-se que o congelamento dos pães pré-assados seguiu o perfil de congelamento descrito por Hindmarsh, Russell e Chen (2004), o que pode ser melhor observado pela ampliação da Figura 15 no momento da mudança de fase (Figura 16).



**Figura 16:** Transição de temperatura dos pães pré-assados em cinco etapas de congelamento.

Os pães entraram na câmara de congelamento com temperatura média de  $27,2 \pm 3,3$  °C e tiveram a temperatura reduzida (A) até que fosse retirada a energia necessária para a ocorrência da nucleação (B), ou seja, temperatura na qual os núcleos dos cristais de gelo são formados. Observa-se que este fenômeno aconteceu em  $-4,8 \pm 0,7$  °C, mostrando a ocorrência de um subresfriamento da água, como era esperado uma vez que produtos de panificação são sistemas complexos no quais polímeros de amido e proteína e solutos de baixo peso molecular (por exemplo, cloreto de sódio) estão dispersos ou dissolvidos na fase aquosa (CAUVAIN, 2003). A adição de solutos que aumentam a viscosidade (e então, reduzem a mobilidade da água) desacelera a cinética de nucleação (REID, 1983). Logo, em B, verificou-se a nucleação e a liberação de calor latente de fusão, a qual ocorreu instantaneamente. Observa-se que a liberação ocorreu em uma taxa maior do que a taxa de remoção de calor. De acordo com Hindmarsh, Russell e Chen (2004), este estágio termina quando o estado de subresfriamento é exaurido e o sistema alcança uma temperatura de início de congelamento. Neste caso, como não estamos trabalhando com água pura, observa-se que a condição

de subresfriamento não foi exaurida. O equilíbrio foi alcançado em temperaturas abaixo de 0°C. Um aumento de temperatura de  $0,6 \pm 0,1$  °C foi verificado na ocorrência da organização dos núcleos dos cristais de gelo.

Ainda de acordo com Hindmarsh, Russell e Chen (2004), em C ocorre a “recalescência”, etapa durante a qual um rápido aumento de formação dos núcleos de cristais de gelo impulsionado pelo subresfriamento é observado e, em D, ocorre o crescimento dos cristais, etapa que ocorre até que a maior parte da água fica completamente congelada. A temperatura permanece relativamente constante devido ao calor latente estar sendo removido nesta etapa (JEREMIAH, 1996). Para os pães pré-assados com fibras, observou-se que as etapas C e D aconteceram muito rapidamente, o que pode ser devido ao baixo conteúdo de água disponível para o congelamento. Os pães, ao entrarem na câmara de congelamento já estavam pré-assados, ou seja, já possuíam uma estrutura de miolo formada com um conteúdo menor de umidade do que uma massa de pão, por exemplo. Além disso, os pães possuíam um conteúdo considerável de fibras alimentares, que retêm uma grande quantidade de água ligada à sua estrutura. O comportamento da fase aquosa durante o congelamento é significativamente afetado pela formulação do produto e pelo grau em que a água está ligada dentro da matriz do produto (CAUVAIN, 2003). A fibra tem inúmeras funções, incluindo a inibição da formação de cristais de gelo em produtos congelados (CHO; DREHER, 2001).

Finalmente, em E, ocorreu a etapa referida como resfriamento ou têmpera. Quando a temperatura do centro do produto congelado foi reduzida até -18°C, terminou-se o processo de congelamento.

### 4.3. Avaliação das características de qualidade dos pães

#### 4.3.1. Volume específico e colapso da estrutura

As Tabelas 32, 33 e 34 apresentam os resultados obtidos na análise do volume específico dos pães convencionais e dos pães pré-assados reassados, de acordo com o planejamento experimental realizado.

**Tabela 32:** Volume dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Volume (mL)		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	1023 ± 29	550 ± 10	657 ± 45
2	+1	-1	-1	747 ± 12	510 ± 26	553 ± 12
3	-1	+1	-1	1038 ± 34	482 ± 28	610 ± 10
4	+1	+1	-1	800 ± 36	595 ± 13	500 ± 20
5	-1	-1	+1	1073 ± 47	648 ± 33	653 ± 31
6	+1	-1	+1	865 ± 35	667 ± 40	670 ± 17
7	-1	+1	+1	963 ± 15	557 ± 15	453 ± 23
8	+1	+1	+1	737 ± 15	497 ± 40	670 ± 44
9	-1,68	0	0	1127 ± 38	490 ± 10	592 ± 45
10	+1,68	0	0	767 ± 15	680 ± 20	665 ± 13
11	0	-1,68	0	850 ± 44	440 ± 20	543 ± 45
12	0	+1,68	0	982 ± 36	718 ± 20	678 ± 29
13	0	0	-1,68	857 ± 12	527 ± 29	677 ± 15
14	0	0	+1,68	903 ± 40	535 ± 39	487 ± 23
15	0	0	0	823 ± 45	673 ± 31	705 ± 39
16	0	0	0	905 ± 22	703 ± 18	760 ± 28
17	0	0	0	1039 ± 20	525 ± 13	667 ± 31
18	0	0	0	798 ± 16	483 ± 21	567 ± 21

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

**Tabela 33:** Peso dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Peso (g)		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	140,63 ± 0,48	146,19 ± 1,47	144,74 ± 2,00
2	+1	-1	-1	141,89 ± 0,86	143,98 ± 6,04	143,07 ± 3,19
3	-1	+1	-1	139,20 ± 0,10	140,69 ± 3,01	134,45 ± 1,98
4	+1	+1	-1	141,50 ± 0,39	143,45 ± 0,37	148,28 ± 0,54
5	-1	-1	+1	138,13 ± 2,48	140,46 ± 2,85	144,08 ± 3,86
6	+1	-1	+1	139,99 ± 1,41	142,18 ± 1,59	141,08 ± 2,38
7	-1	+1	+1	137,86 ± 0,53	145,40 ± 1,52	134,69 ± 2,21
8	+1	+1	+1	140,05 ± 1,22	146,51 ± 0,88	146,88 ± 1,34
9	-1,68	0	0	138,17 ± 0,96	141,53 ± 0,53	139,08 ± 3,01
10	+1,68	0	0	142,06 ± 0,65	146,41 ± 1,29	144,98 ± 0,73
11	0	-1,68	0	142,99 ± 1,37	141,42 ± 5,91	139,08 ± 2,06
12	0	+1,68	0	138,48 ± 0,86	141,66 ± 1,32	143,10 ± 3,38
13	0	0	-1,68	142,53 ± 0,86	146,01 ± 0,11	144,45 ± 2,32
14	0	0	+1,68	139,84 ± 0,57	151,33 ± 0,99	135,88 ± 1,55
15	0	0	0	140,99 ± 0,82	141,90 ± 2,17	141,85 ± 0,77
16	0	0	0	139,05 ± 0,88	140,82 ± 1,87	139,74 ± 4,70
17	0	0	0	139,46 ± 1,84	146,63 ± 1,34	133,09 ± 3,48
18	0	0	0	141,68 ± 0,77	149,41 ± 0,21	144,51 ± 2,60

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

**Tabela 34:** Volume específico dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Volume específico (mL/g)		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	7,27 ± 0,19	3,76 ± 0,08	4,54 ± 0,32
2	+1	-1	-1	5,26 ± 0,10	3,54 ± 0,16	3,87 ± 0,12
3	-1	+1	-1	7,46 ± 0,24	3,43 ± 0,27	4,54 ± 0,04
4	+1	+1	-1	5,65 ± 0,24	4,15 ± 0,09	3,37 ± 0,13
5	-1	-1	+1	7,78 ± 0,47	4,62 ± 0,21	4,54 ± 0,31
6	+1	-1	+1	6,18 ± 0,31	4,69 ± 0,24	4,75 ± 0,05
7	-1	+1	+1	6,99 ± 0,11	3,83 ± 0,08	3,37 ± 0,18
8	+1	+1	+1	5,26 ± 0,12	3,39 ± 0,30	4,56 ± 0,26
9	-1,68	0	0	8,15 ± 0,30	3,46 ± 0,06	4,25 ± 0,32
10	+1,68	0	0	5,39 ± 0,12	4,64 ± 0,10	4,58 ± 0,10
11	0	-1,68	0	5,95 ± 0,36	3,11 ± 0,22	3,78 ± 0,27
12	0	+1,68	0	7,09 ± 0,26	5,07 ± 0,11	4,74 ± 0,29
13	0	0	-1,68	6,01 ± 0,11	3,61 ± 0,20	4,69 ± 0,17
14	0	0	+1,68	6,46 ± 0,31	3,53 ± 0,24	3,58 ± 0,13
15	0	0	0	5,84 ± 0,35	4,74 ± 0,14	4,97 ± 0,29
16	0	0	0	6,50 ± 0,14	4,99 ± 0,06	5,44 ± 0,02
17	0	0	0	7,43 ± 0,13	3,58 ± 0,06	5,01 ± 0,35
18	0	0	0	5,64 ± 0,09	3,23 ± 0,14	3,92 ± 0,19

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Fazendo uma análise dos valores de volume específico apresentados na Tabela 34, verifica-se que eles variaram de 5,39 a 8,15 mL/g para os pães convencionais (PC), de 3,11 a 5,07 mL/g para os pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados (P32) e de 3,37 a 5,44 mL/g para os pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados (P62).

Os valores máximo e mínimo do volume específico obtidos para os PC ocorreram em pontos axiais do planejamento (ensaios 09 e 10, respectivamente), onde as porcentagens mínima e máxima de farelo de trigo da faixa estudada foram empregadas, simultaneamente com as quantidades intermediárias das outras fontes de fibra.

Através dos resultados do volume específico é possível verificar a possibilidade de um modelo de 2ª ordem. Assim, as Tabelas 35, 36 e 37 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para o volume específico dos pães (PC, P32 e P62, respectivamente).

**Tabela 35:** Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,35	0,40	15,77	0,0006
FT (L)*	-0,86	0,22	-3,95	0,0289
FT (Q)	0,14	0,23	0,62	0,5816
AR (L)	0,06	0,22	0,26	0,8089
AR (Q)	0,05	0,23	0,23	0,8356
LBG (L)	0,10	0,22	0,44	0,6865
LBG (Q)	-0,05	0,23	-0,22	0,8414
FT x AR	0,01	0,29	0,03	0,9775
FT x LBG	0,06	0,29	0,21	0,8438
AR x LBG	-0,29	0,29	-1,00	0,3896

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 36:** Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	4,13	0,43	9,61	0,0024
FT (L)	0,15	0,23	0,66	0,5539
FT (Q)	-0,02	0,24	-0,09	0,9332
AR (L)	0,11	0,23	0,47	0,6723
AR (Q)	-0,01	0,24	-0,03	0,9760
LBG (L)	0,11	0,23	0,48	0,6664
LBG (Q)	-0,19	0,24	-0,79	0,4862
FT x AR	0,05	0,30	0,18	0,8711
FT x LBG	-0,11	0,30	-0,36	0,7446
AR x LBG	-0,30	0,30	-0,97	0,4022

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 37:** Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	4,84	0,32	15,00	0,0006
FT (L)	0,01	0,17	0,05	0,9646
FT (Q)	-0,16	0,18	-0,87	0,4488
AR (L)	-0,02	0,17	-0,10	0,9246
AR (Q)	-0,21	0,18	-1,17	0,3263
LBG (L)	-0,07	0,17	-0,40	0,7127
LBG (Q)	-0,26	0,18	-1,41	0,2523
FT x AR	0,06	0,23	0,26	0,8098
FT x LBG	0,41	0,23	1,77	0,1743
AR x LBG	-0,11	0,23	-0,47	0,6700

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

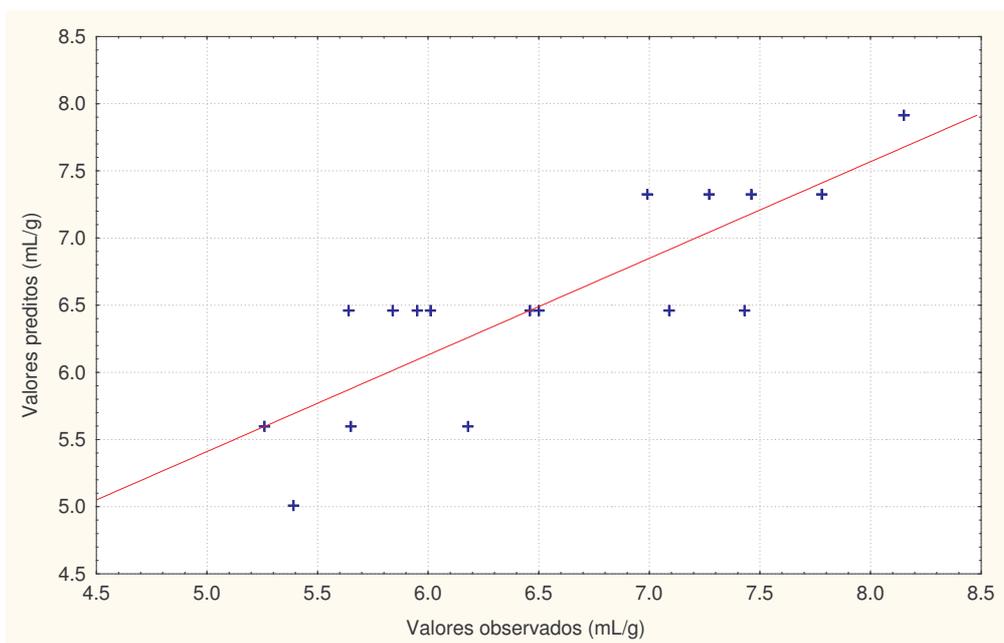
Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabelas 35, 36 e 37), observa-se que a única fonte de fibra alimentar que teve interferência estatisticamente significativa no volume específico dos PC, dentro da faixa estudada, foi o farelo de trigo. No entanto, para os P32 e P62, observa-se que nenhuma fonte de fibra alimentar teve interferência nesta medida. Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ). Isto indica que independentemente das quantidades adicionadas de farelo de trigo, amido resistente e LBG, o volume específico apresentado por estes pães ficou dentro do intervalo do valor médio e seu erro padrão.

A ANOVA (Tabela 38) correspondente ao modelo do volume específico dos PC indica que a variação explicada (71,93%) e o F calculado são adequados para a avaliação da tendência desta resposta (Figura 17).

**Tabela 38:** ANOVA para a resposta volume específico dos pães convencionais.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	10,18	1	10,18	41,01
resíduos	3,97	16	0,25	
falta de ajuste	2,02	13	0,16	
erro puro	1,95	3	0,65	
total	14,15	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7193;  $F_{1; 16; 0,05} = 4,49$



**Figura 17:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do volume específico dos pães convencionais.

Em vista dos resultados satisfatórios da análise de variância pôde-se obter o modelo com as variáveis codificadas que descreve o comportamento do volume específico dos pães convencionais, expresso na Equação 13. No Anexo FD estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos.

$$\text{Volume específico dos PC} = 6,46 - 0,86 \text{ FT} \quad (13)$$

Através da análise das superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo dos PC (Figura 18), percebe-se que quanto maior é a adição de farelo de trigo, menor é o volume específico. Observa-se também que o amido resistente e a LBG não interferiram em tal parâmetro.

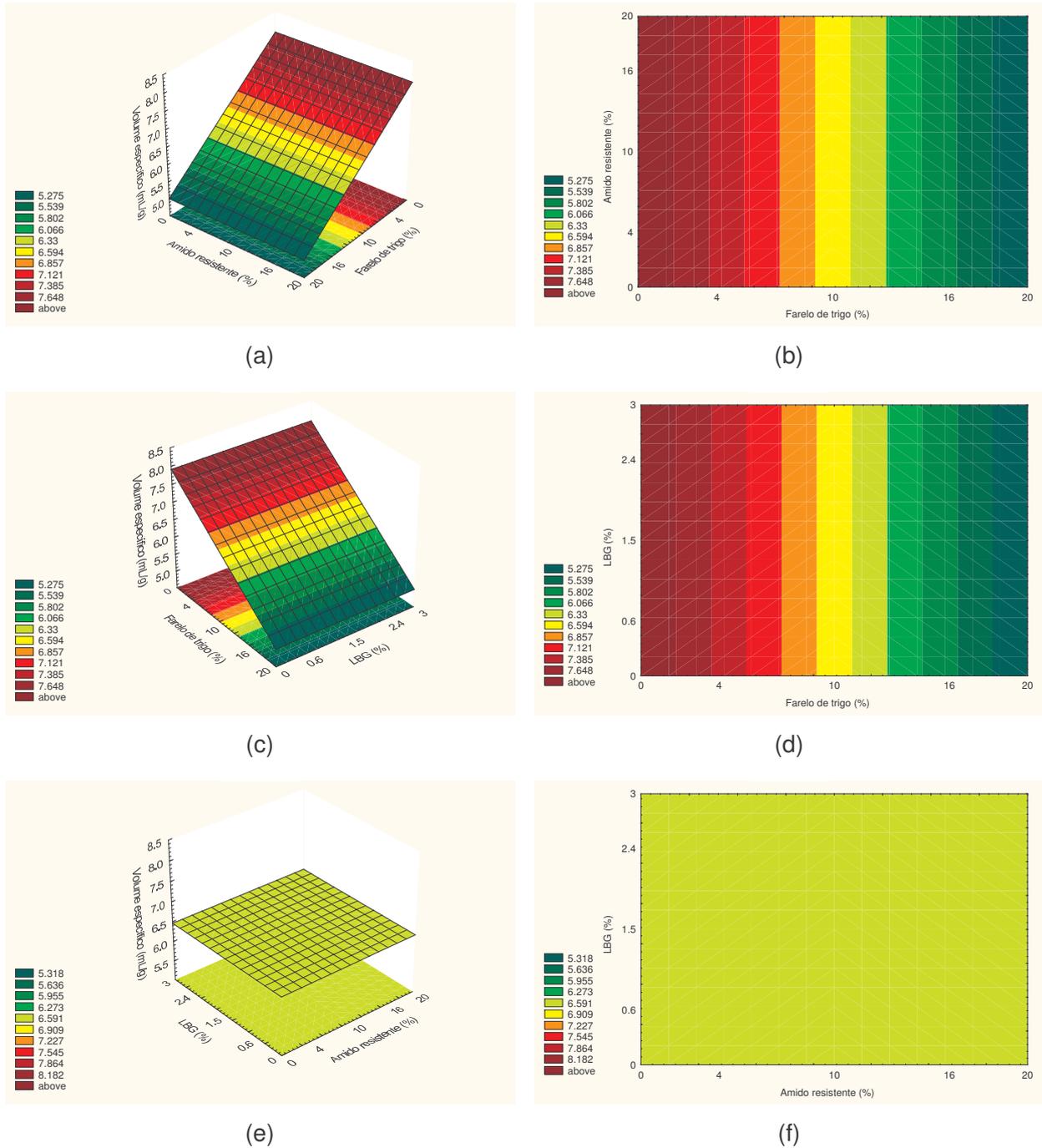
Gómez *et al.* (2003), Pomeranz, Shogren e Finney (1976), Rao e Rao (1991) e Zhang e Moore (1999) observaram que houve uma redução do volume específico dos pães com o aumento da adição de farelo de trigo em níveis de até 15%, 40%, 15% e 5%, respectivamente.

Rao e Rao (1991) observaram que houve um gradual aumento de peso dos pães com farelo de trigo, o que resultou em uma diminuição do volume específico. O aumento de peso foi explicado pela maior capacidade de retenção de água do farelo. No entanto, a redução do volume específico também pode ser devido a uma redução do volume. Salmenkallio-Marttila, Katina e Autio (2001) observaram uma redução de 19% do volume ao adicionar 20% de farelo de trigo ao pão.

Pomeranz, Shogren e Finney (1976) observaram que a adição acima de 5% de farelo de trigo diminuiu o volume específico do pão em uma extensão esperada, devido à diluição das proteínas funcionais do glúten, mas acima de 7%, o decréscimo foi muito maior do que o esperado.

Eerlingen *et al.* (1994) constataram que o volume específico de pães formulados com 20% de amido de milho de alto teor de amilose (75%) foi menor do que os dos pães que não tiveram adição.

Wang, Rosell e Barber (2002) verificaram que a adição de 3% de LBG causou uma redução do volume específico do pão.



**Figura 18:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o volume específico dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Kock, Taylor e Taylor (1999) concluíram que o farelo de trigo exerce efeitos físicos e químicos que culminam na redução do volume específico dos pães. No entanto, o efeito físico é preponderante sobre o químico (GAN; ELLIS; SCHOFIELD, 1995).

O efeito físico da redução do volume específico pela adição do farelo de trigo estaria relacionado à diluição do conteúdo de glúten e à mudança na estrutura do miolo, que fazem com que a retenção de dióxido de carbono fique enfraquecida. A diminuição do volume pela fibra parece ser resultado mais da redução da retenção de gás do que da redução da formação de gás (POMERANZ *et al.*, 1977). Wang, Rosell e Barber (2002), através de estudos em reofermentômetro, concluíram que a adição de fibra causa um aumento da permeabilidade da massa ao gás carbônico, além de ocorrer uma inibição da livre expansão da massa durante a fermentação. A adição de partículas promove um rompimento físico da matriz protéica do glúten da massa, além de restringir e forçar as células de gás a expandirem em uma direção particular (GAN *et al.*, 1992). As fibras atuam como pontos de concentração de enfraquecimento ou tensão dentro das paredes das células de gás (GAN *et al.*, 1989)

Além disso, Lai, Hosney e Davis (1989) sugeriram que, devido à competição por água entre farelo, amido e glúten, este último componente não seria suficientemente hidratado para desenvolver-se otimamente em níveis “normais” de absorção, resultando em uma redução no volume. Rao e Rao (1991) observaram que a adição de uma quantidade de água maior do que a indicada pela absorção de água farinográfica da combinação da farinha e do farelo de trigo proporcionou pães com maiores volumes específicos. O requerimento extra de água (diferença entre a quantidade de água absorvida pela massa durante o processo e a determinada pela absorção farinográfica da combinação da farinha e do farelo de trigo) aumentava com o aumento dos níveis de adição de farelo de trigo.

Por outro lado, o efeito químico da redução do volume específico pela adição do farelo de trigo estaria relacionado à interação da farinha branca com os

produtos da degradação dos lipídeos do germe e do farelo e também com a atividade da glutatona (KOCK; TAYLOR; TAYLOR, 1999).

A hidrólise de lipídeos, devida principalmente à atividade enzimática no farelo, libera ácidos graxos polinsaturados dos quais (aproximadamente 60% do total) é oxidado pela atividade da lipoxigenase concentrada no germe. A ocorrência desta reação, quando a massa é formada, bem como na farinha mesmo, compete com a levedura pela disponibilidade de oxigênio na massa e com outras reações que requerem oxigênio, tais como a oxidação do ácido ascórbico. Os ácidos graxos livres e outros produtos da degradação lipídica podem também atuar como desestabilizadores da estrutura da massa (dispersão de células de gás em uma matriz contínua constituída de amido, proteínas e outros componentes minoritários) e reduzir o volume (GAN; ELLIS; SCHOFIELD., 1995).

A glutatona (tripeptídeo sulfidrílico de baixo peso molecular presente no germe), no entanto, seria responsável por causar um enfraquecimento da massa por clivar ou participar de reações de intercâmbio SH/SS nas proteínas do glúten (SCHOFIELD; CHEN, 1995).

A Tabela 39 apresenta a média do volume, peso e volume específico dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 39:** Média do volume, peso e volume específico dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Parâmetros	PC	P32	P62
Volume (mL)	905 <sup>a</sup> ± 120	571 <sup>b</sup> ± 88	617 <sup>b</sup> ± 84
Peso (g)	140,25 <sup>b</sup> ± 1,61	144,22 <sup>a</sup> ± 3,18	141,28 <sup>b</sup> ± 4,47
VE (mL/g)	6,46 <sup>a</sup> ± 0,91	3,97 <sup>b</sup> ± 0,65	4,36 <sup>b</sup> ± 0,59

PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 18. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Observando os valores apresentados na Tabela 39, observa-se que houve uma queda estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) no volume específico dos P32 e P62 em relação ao dos PC, provocada por uma redução do volume dos pães. Entretanto, não houve diferença significativa entre o volume e o volume específico dos P32 e dos P62, mostrando que o período de estocagem congelada não influenciou estas características dos pães pré-assados reassados.

Com relação ao peso dos pães, verifica-se que houve uma perda de aproximadamente 20% no forneamento, uma vez que as massas pesavam  $175 \pm 1$  g. Verifica-se também que, em média, os pães pré-assados reassados ou tiveram valor maior ou igual ao dos pães assados convencionalmente. Este resultado é muito importante, uma vez que perda de peso durante o congelamento e estocagem congelada tem conseqüências econômicas (KENNEDY, 2000).

Carr e Tadini (2003) verificaram que o volume específico do pão francês pré-assado reassado foi menor do que o do pão assado convencionalmente. Estes autores explicaram que este fato ocorreu provavelmente devido à cristalização do gelo causar danos à estrutura do pão. Ferreira, Watanabe e Benassi (1999) também constataram uma redução do volume específico do pão francês e verificaram que este parâmetro foi reduzido devido a uma contração do volume (16%).

Durante a estocagem congelada, um aumento do tamanho do cristal é importante e pode reduzir a qualidade do produto. Até sob temperaturas constantes, ocorre o processo no qual cristais pequenos diminuem em tamanho, enquanto cristais grandes crescem em tamanho. Com o tempo, o número de cristais diminui e o tamanho médio dos mesmos aumenta – em parte, ocorre a reversão do efeito inicial do congelamento rápido (REID, 1983).

Ferreira, Watanabe e Benassi (1999) observaram que uma diminuição do volume específico do pão francês ocorreu durante as primeiras 24 h de estocagem congelada (-18°C), e, após este período, este parâmetro permaneceu praticamente inalterado durante todo o tempo de armazenamento (10 dias). No entanto, Bárcenas *et al.* (2003) e Carr e Tadini (2003) observaram que o período de estocagem congelada (entre 7 e 42 dias e entre 7 e 28 dias, respectivamente) não teve efeito no volume específico do pão pré-assado reassado. Bárcenas, Benedito e Rosell (2004) também verificaram que o volume específico dos pães pré-assados reassados não foi afetado pela duração do tempo de estocagem congelada (entre 7 e 42 dias). No entanto, quando  $\kappa$ -carragena foi incorporada na formulação destes pães, observou-se uma redução do volume específico com o tempo de estocagem. Porém, este resultado não pode ser estendido como regra para todos os hidrocolóides, uma vez que estes mesmos autores também verificaram que o volume específico dos pães que tiveram a adição de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) não foi afetado pela duração do tempo de estocagem congelada.

De acordo com Cauvain (2003), durante o assamento, as características reológicas das massas do pão sofrem profunda mudança entre 55 e 75°C. É por volta desta faixa de temperatura que ocorre a gelatinização do amido e a coagulação de proteínas. A viscosidade da massa neste estágio aumenta em muitas ordens de magnitude, porém o produto não está “assado” neste ponto. Se ele é removido neste ponto do forno ele não suporta seu próprio peso e colapsa sob a influência da gravidade. Observações práticas têm mostrado que é necessário continuar o forneamento em muitos tipos de pão para que a

temperatura do centro alcance entre 92 e 96°C antes que uma estrutura rígida o suficiente seja formada.

Apesar dos pães terem sido retirados do forno após o pré-assamento, apresentando temperatura do miolo de aproximadamente 95°C, observou-se que ocorreu um pequeno colapso da estrutura de alguns pães em todos os ensaios, o que pode ter sido uma das causas da redução do volume apresentado pelos pães pré-assados em relação aos pães convencionais. Visando verificar a interferência das fibras neste fenômeno, foi calculada a porcentagem do total dos pães de cada ensaio que colapsaram após a etapa de pré-assamento (Tabela 40).

**Tabela 40:** Colapso da estrutura dos pães pré-assados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Pães que colapsaram (%)
1	-1	-1	-1	85,0
2	+1	-1	-1	49,5
3	-1	+1	-1	59,5
4	+1	+1	-1	8,0
5	-1	-1	+1	86,5
6	+1	-1	+1	59,5
7	-1	+1	+1	100,0
8	+1	+1	+1	46,0
9	-1,68	0	0	96,5
10	+1,68	0	0	43,0
11	0	-1,68	0	90,0
12	0	+1,68	0	84,0
13	0	0	-1,68	49,5
14	0	0	+1,68	93,5
15	0	0	0	55,0
16	0	0	0	48,0
17	0	0	0	53,5
18	0	0	0	45,0

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

Através dos resultados da porcentagem do número dos pães pré-assados que colapsaram é possível verificar a possibilidade de um modelo de 2ª ordem. Assim, a Tabela 41 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para o colapso da estrutura dos pães pré-assados.

**Tabela 41:** Coeficientes de regressão para a resposta colapso da estrutura dos pães pré-assados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	51,14	2,34	21,89	0,0002
FT (L)*	-18,89	1,27	-14,92	0,0007
FT (Q)	3,41	1,32	2,59	0,0810
AR (L)*	-5,64	1,27	-4,46	0,0210
AR (Q)*	9,51	1,32	7,23	0,0055
LBG (L)*	12,01	1,27	9,48	0,0025
LBG (Q)	4,03	1,32	3,06	0,0549
FT x AR*	-5,38	1,65	-3,25	0,0475
FT x LBG	0,75	1,65	0,45	0,6811
AR x LBG*	8,38	1,65	5,06	0,0149

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

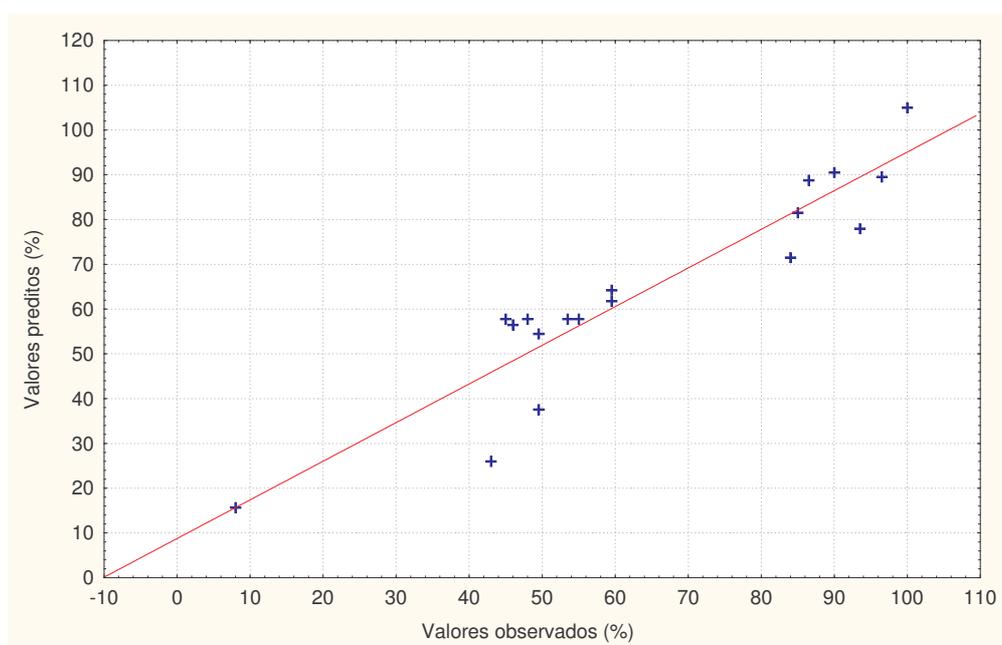
\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabela 41), observa-se que todas as fontes de fibra alimentar tiveram interferência no colapso da estrutura dos pães pré-assados. A ANOVA (Tabela 42) correspondente ao modelo indica que a variação explicada (86,32%) e o F calculado (3,74 vezes maior que o F tabelado) são adequados para a avaliação da tendência desta resposta (Figura 19).

**Tabela 42:** ANOVA para a resposta colapso da estrutura dos pães pré-assados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	8991,46	6	1498,58	11,57
resíduos	1424,54	11	129,50	
falta de ajuste	1358,86	8	169,86	
erro puro	65,69	3	21,90	
Total	10416,00	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8632;  $F_{6; 11; 0,05} = 3,09$



**Figura 19:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do colapso da estrutura dos pães pré-assados.

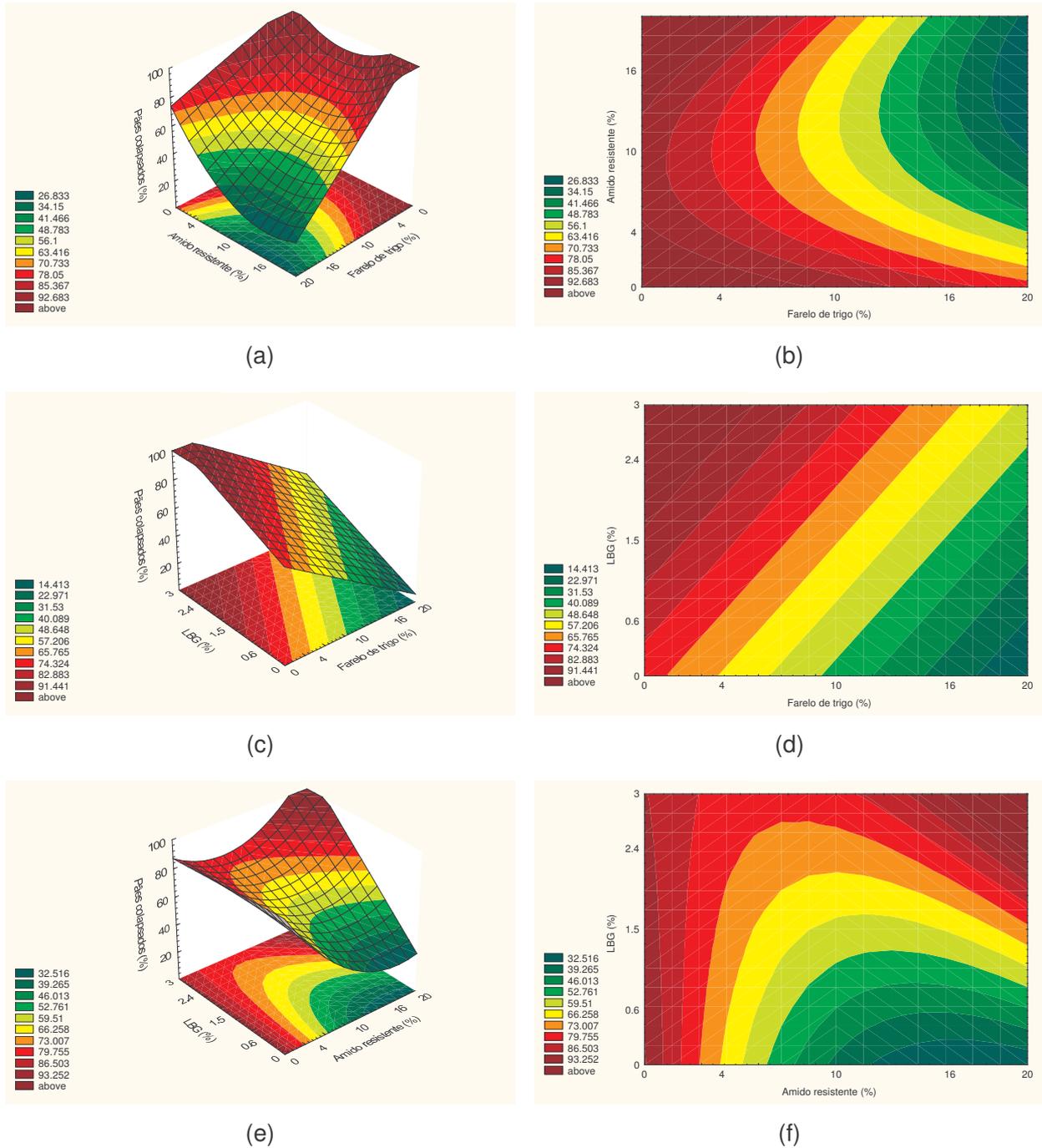
Em vista dos resultados satisfatórios da análise de variância pôde-se obter o modelo com as variáveis codificadas que descreve o comportamento do colapso da estrutura dos pães pré-assados, expresso na Equação 14. No Anexo FD estão

apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos.

% dos pães pré-assados

$$\begin{aligned} \text{que colapsaram} = & 57,76 - 18,89 \text{ FT} - 5,64 \text{ AR} + 8,22 \text{ AR}^2 + \\ & 12,01 \text{ LBG} - 5,38 \text{ FT AR} + 8,38 \text{ AR LBG} \end{aligned} \quad (14)$$

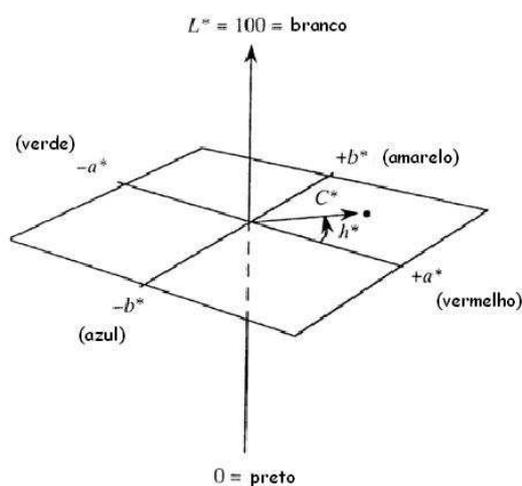
Através da análise das superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo (Figura 20), percebe-se que o colapso da estrutura dos pães pré-assados ocorreu com maior expressividade em concentrações menores de adição de farelo de trigo e amido resistente. Uma região de menor ocorrência do colapso da estrutura foi verificada onde se encontra uma faixa de combinações de farelo de trigo (maior que 16%), amido resistente (maior que 4%) e LBG (menor que 1,5%). Logo, por estes resultados, verifica-se que a diluição da rede de glúten pelas fontes de fibra não seria necessariamente o motivo para o colapso da estrutura dos pães, uma vez que não se observou uma relação direta entre a quantidade de fibra adicionada e o aumento dos pães colapsados.



**Figura 20:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o colapso da estrutura dos pães pré-assados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

### 4.3.2. Cor instrumental da crosta e do miolo

O sistema de medida de cor transforma a reflexão ou o espectro de transmissão do objeto em um espaço de cor tridimensional usando o poder de distribuição espectral do iluminante e as funções de combinação de cores dos observadores padrão (MAC DOUGALL, 2002). Neste trabalho, a cor foi avaliada através dos parâmetros de luminosidade ( $L^*$ ), croma ( $C^*$ ) e ângulo de tonalidade ( $h$ ), que estão apresentados no diagrama de cor abaixo (Figura 21).



**Figura 21:** Diagrama do CIE Lab mostrando as relações de vermelho/verde ( $a^*/-)$  e amarelo/azul ( $b^*/-)$ , coordenadas opostas à luminosidade  $L^*$ , croma  $C^*$  e ângulo de tonalidade  $h$ .

Fonte: MAC DOUGALL (2002).

O sistema de cor  $L^* C^* h$  usa o mesmo diagrama de cor do sistema  $L^* a^* b^*$ , mas utiliza coordenadas cilíndricas ao invés de coordenadas retangulares. Neste sistema de cor, o  $L^*$  indica a luminosidade e é o mesmo  $L^*$  do sistema  $L^* a^* b^*$ ,  $C^*$  é o croma, e  $h$  é o ângulo de tonalidade. O valor de  $C^*$  é 0 no centro e aumenta de acordo com a distância do centro. O ângulo de tonalidade  $h$  é definido começando

no eixo  $+a^*$  e é expresso em graus;  $0^\circ$  seria  $+a^*$  (vermelho),  $90^\circ$  seria  $+b^*$  (amarelo),  $180^\circ$  seria  $-a^*$  (verde), e  $270^\circ$  seria  $-b^*$  (azul) (MINOLTA, 1993).

Embora a cor original dos ingredientes possa ter alguma influência na coloração da crosta do pão, ela está principalmente associada às reações de Maillard e de caramelização. Porém, a cor do miolo do pão é geralmente similar à cor dos ingredientes porque o miolo não está tão acessível quanto à casca às altas temperaturas. Em geral, fibras brancas ou claras proporcionam pães com cores do miolo e da crosta muito mais parecidas às do pão sem a adição de fibras (Gómez *et al.*, 2003).

#### **4.3.2.1. Cor instrumental da crosta**

##### **4.3.2.1.1. Luminosidade ( $L^*$ ) da crosta**

A Tabela 43 apresenta os valores da luminosidade ( $L^*$ ) da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 43:** Luminosidade da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Luminosidade da crosta		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	53,00 ± 0,19	62,65 ± 1,07	61,77 ± 1,21
2	+1	-1	-1	52,05 ± 1,11	55,43 ± 0,93	51,67 ± 1,14
3	-1	+1	-1	56,30 ± 0,17	63,12 ± 0,80	61,73 ± 1,35
4	+1	+1	-1	54,67 ± 0,23	63,27 ± 0,24	59,57 ± 0,32
5	-1	-1	+1	52,39 ± 1,41	60,73 ± 3,02	58,39 ± 2,44
6	+1	-1	+1	49,79 ± 0,18	57,79 ± 0,75	56,79 ± 1,51
7	-1	+1	+1	55,65 ± 0,45	62,55 ± 1,20	59,74 ± 0,78
8	+1	+1	+1	55,07 ± 1,03	60,25 ± 0,83	62,21 ± 0,71
9	-1,68	0	0	52,92 ± 0,44	62,45 ± 0,86	64,86 ± 2,57
10	+1,68	0	0	53,88 ± 1,27	59,50 ± 0,80	57,74 ± 0,66
11	0	-1,68	0	52,81 ± 2,25	56,68 ± 0,07	58,87 ± 1,33
12	0	+1,68	0	55,93 ± 1,05	64,72 ± 1,16	58,64 ± 1,66
13	0	0	-1,68	55,13 ± 0,74	62,98 ± 0,99	59,40 ± 0,09
14	0	0	+1,68	53,61 ± 0,35	60,26 ± 0,33	55,25 ± 1,24
15	0	0	0	54,73 ± 0,49	58,52 ± 0,53	61,86 ± 0,46
16	0	0	0	54,13 ± 0,60	59,92 ± 0,91	56,64 ± 0,60
17	0	0	0	55,04 ± 0,93	60,76 ± 0,90	59,31 ± 1,24
18	0	0	0	53,45 ± 0,66	59,52 ± 0,50	61,47 ± 0,82

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Os valores da luminosidade ( $L^*$ ) da crosta dos PC, P32 e P62 ficaram nos intervalos de 49,79 e 56,30, 55,43 e 64,72, 51,67 e 64,86, respectivamente. Observa-se que, de uma maneira geral, a luminosidade da crosta dos pães pré-assados foi maior do que a dos pães convencionais. Isto pode ser explicado pela diferença de forneamento a que foram submetidos. De acordo com Sluimer (2005), é quase impossível produzir o mesmo brilho e escurecimento da crosta no reassamento que quando os pães são obtidos em processo de forneamento

convencional. A cor da crosta do pão pré-assado é a mais clara possível, para dar a impressão ao consumidor de que aquele pão ainda é uma “massa”, e que precisa de uma operação de forneamento. Quanto mais clara a crosta dos pães pré-assados, mais difícil é proporcionar-lhe um escurecimento aceitável durante o reassamento.

Através dos resultados da Tabela 43, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para a luminosidade da crosta dos PC, P32 e P62. Para os PC e P62 (Tabelas 44 e 46), não foi possível estabelecer um modelo para a resposta  $L^*$  da crosta em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos P62. Para os PC, apesar do fator linear do amido resistente ter sido significativo, não pôde-se chegar a um modelo que explique os dados experimentais, já que o coeficiente de determinação foi muito baixo e os resíduos muito altos. No entanto, para os P32, foi possível a obtenção do modelo. Os fatores lineares do farelo de trigo e do amido resistente e de interação entre estas duas fontes de fibra alimentar foram estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ). As Tabelas 44, 45 e 46 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para  $L^*$  da crosta.

**Tabela 44:** Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade da crosta dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	54,36	0,35	155,10	<0,0001
FT (L)	-0,30	0,19	-1,60	0,2083
FT (Q)	-0,42	0,20	-2,13	0,1226
AR (L)*	1,44	0,19	7,60	0,0047
AR (Q)	-0,08	0,20	-0,40	0,7186
LBG (L)	-0,42	0,19	-2,19	0,1165
LBG (Q)	-0,08	0,20	-0,40	0,7186
FT x AR	0,17	0,25	0,67	0,5481
FT x LBG	-0,08	0,25	-0,30	0,7822
AR x LBG	0,33	0,25	1,32	0,2786

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 45:** Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	59,70	0,46	128,57	<0,0001
FT (L)*	-1,26	0,25	-5,02	0,0152
FT (Q)	0,36	0,26	1,37	0,2644
AR (L)*	1,91	0,25	7,60	0,0047
AR (Q)	0,26	0,26	1,00	0,3920
LBG (L)	-0,57	0,25	-2,25	0,1102
LBG (Q)	0,59	0,26	2,24	0,1108
FT x AR*	1,00	0,33	3,04	0,0557
FT x LBG	0,23	0,33	0,70	0,5367
AR x LBG	-0,50	0,33	-1,53	0,2231

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 90% de confiança ( $p < 0,10$ ).

**Tabela 46:** Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	59,82	1,20	49,96	0,0000
FT (L)	-1,71	0,65	-2,64	0,0779
FT (Q)	0,50	0,67	0,74	0,5111
AR (L)	1,04	0,65	1,61	0,2064
AR (Q)	-0,40	0,67	-0,59	0,5962
LBG (L)	-0,34	0,65	-0,52	0,6404
LBG (Q)	-0,90	0,67	-1,34	0,2726
FT x AR	1,50	0,85	1,77	0,1748
FT x LBG	1,64	0,85	1,94	0,1484
AR x LBG	-0,14	0,85	-0,16	0,8826

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

A ANOVA (Tabela 47) correspondente ao modelo para a luminosidade da crosta dos P32 apresenta uma variação explicada de 76,00% e, no teste F, o valor calculado foi 5,87 vezes maior que o tabelado, a 90% de confiança.

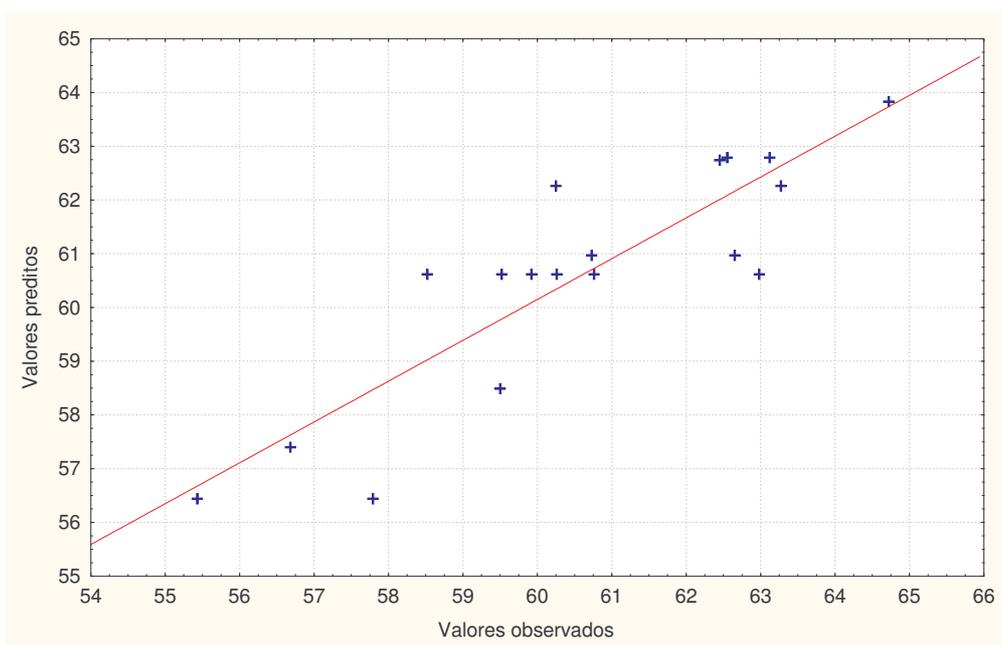
**Tabela 47:** ANOVA para a resposta luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	79,79	3	26,60	14,78
resíduos	25,19	14	1,80	
falta de ajuste	22,60	11	2,05	
erro puro	2,60	3	0,87	
total	104,98	17		

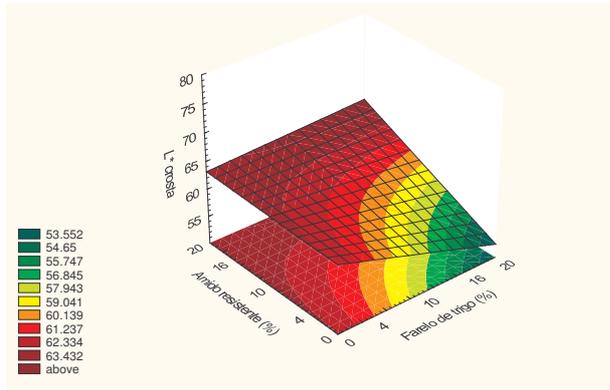
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7600;  $F_{3; 14; 0,10} = 2,52$

Em vista dos resultados satisfatórios da análise de variância para os P32, pôde-se obter o modelo com as variáveis codificadas que descreve o comportamento de  $L^*$  da crosta destes pães, o qual está expresso na Equação 15. No Anexo FE estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. O modelo ajustado apresentou uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pela Figura 22. Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno do  $L^*$  da crosta dos P32, apresentadas na Figura 23.

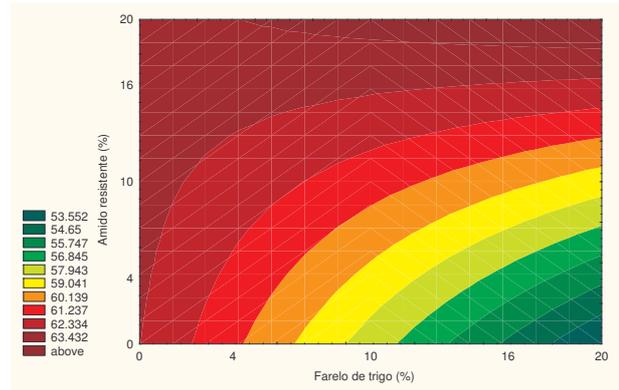
$$L^* \text{ da crosta dos P32} = 60,62 - 1,26 \text{ FT} + 1,91 \text{ AR} + 1,00 \text{ FT AR} \quad (15)$$



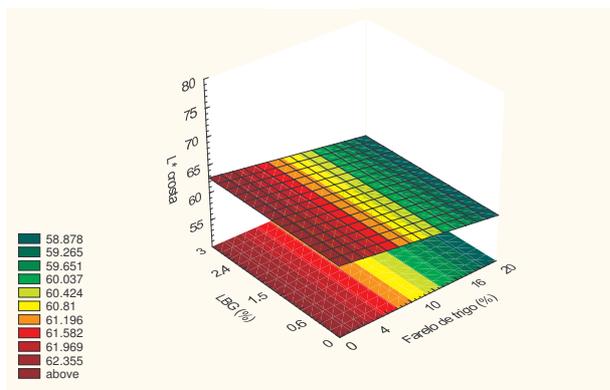
**Figura 22:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.



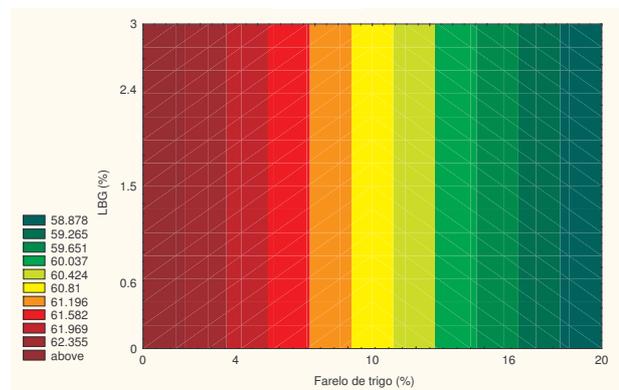
(a)



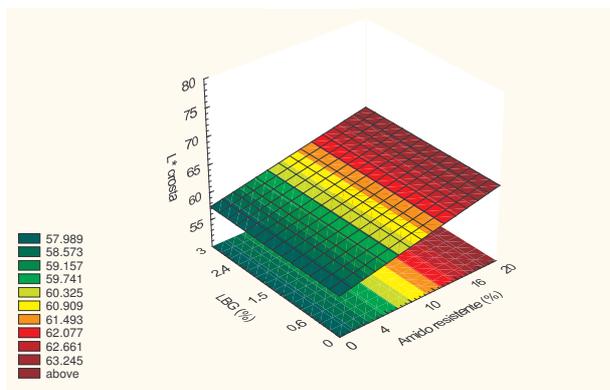
(b)



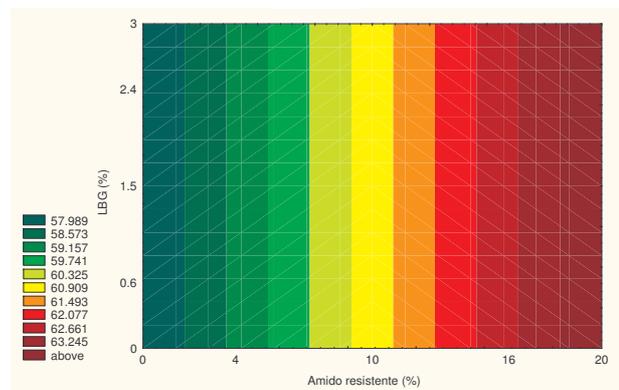
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 23:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a luminosidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Observa-se claramente, pelas superfícies de resposta e curvas de contorno apresentadas, que o farelo de trigo contribui para uma diminuição da luminosidade da crosta dos P32. Dentro da faixa estudada, a adição acima de 10% desta fonte de fibra favorece a obtenção de pães com crostas mais escuras. Pomeranz, Shogren e Finney (1976) e Pomeranz *et al.* (1977) também verificaram que a adição de farelo de trigo provocou um decréscimo da luminosidade da crosta dos pães.

A LBG não provocou nenhuma interferência no  $L^*$  da crosta dos P32. Já o amido resistente contribuiu para um aumento da luminosidade da crosta destes pães. Para os PC, apesar de nenhum modelo poder ser obtido, observa-se que o fator linear do amido resistente foi significativo e teve efeito positivo no valor de  $L^*$  da crosta. Tanto o amido resistente como a LBG, ou tiveram efeito positivo ou não interferiram na luminosidade da crosta, o que leva à suposição da não degradação sofrida por estas fontes de fibra, uma vez que ao serem degradadas, elas poderiam interagir com proteínas e formarem melanoidinas, que contribuiriam para o decréscimo da luminosidade.

No entanto, de acordo com trabalho realizado por Schwarzlaff *et al.* (1996), na substituição de 4% da farinha de trigo por LBG na produção dos pães já se verificaria algum grau de hidrólise desta fonte de fibra. Estes autores verificaram que a diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) da crosta dos pães com 4% de LBG foi maior do que a dos pães com 2%, em relação ao pão controle, e eles atribuíram tal constatação ao fato de que 2% de LBG não são tão facilmente hidrolisados a açúcares redutores como 4% de LBG.

De acordo com Sluimer (2005), o escurecimento da crosta durante o forneamento é atribuído à reação de condensação de açúcares redutores e polipeptídeos, conhecida como reação de Maillard. Outras reações de escurecimento, como a caramelização ou carbonização, não conferem cor à crosta. No entanto, Gómez *et al.* (2003) relataram que a coloração da crosta do pão está principalmente associada às reações de Maillard e de caramelização.

## 4.3.2.1.2. Croma (C\*) da crosta

A Tabela 48 apresenta os valores do croma (C\*) da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 48:** Croma da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Croma da crosta		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	28,99 ± 0,32	32,52 ± 1,44	33,40 ± 0,51
2	+1	-1	-1	28,25 ± 0,37	30,77 ± 0,81	28,81 ± 0,83
3	-1	+1	-1	29,97 ± 0,35	33,35 ± 0,87	28,22 ± 2,19
4	+1	+1	-1	29,07 ± 0,40	29,88 ± 0,16	30,50 ± 0,33
5	-1	-1	+1	29,17 ± 1,29	33,86 ± 0,89	34,08 ± 0,68
6	+1	-1	+1	27,94 ± 0,49	31,80 ± 0,32	31,56 ± 0,54
7	-1	+1	+1	30,73 ± 0,45	33,04 ± 0,23	33,12 ± 0,57
8	+1	+1	+1	29,48 ± 0,48	32,18 ± 0,51	30,30 ± 0,24
9	-1,68	0	0	30,88 ± 0,71	34,41 ± 0,43	31,85 ± 1,62
10	+1,68	0	0	28,68 ± 0,52	30,47 ± 0,53	30,99 ± 0,54
11	0	-1,68	0	29,70 ± 0,14	32,62 ± 0,91	31,14 ± 0,47
12	0	+1,68	0	30,67 ± 0,59	30,97 ± 0,39	32,89 ± 0,32
13	0	0	-1,68	29,83 ± 0,19	31,24 ± 0,14	32,93 ± 0,60
14	0	0	+1,68	29,05 ± 0,16	33,39 ± 0,61	32,26 ± 0,74
15	0	0	0	30,42 ± 0,34	31,86 ± 0,29	32,14 ± 0,63
16	0	0	0	30,02 ± 0,30	32,51 ± 2,24	33,72 ± 0,29
17	0	0	0	30,04 ± 0,47	32,43 ± 0,46	29,57 ± 1,76
18	0	0	0	30,26 ± 0,55	32,27 ± 0,85	31,01 ± 0,53

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Os valores do croma ( $C^*$ ) da crosta dos PC, P32 e P62 ficaram nos intervalos de 27,94 e 30,73, 29,88 e 34,41, 28,22 e 34,08, respectivamente. Observa-se que os valores destes intervalos foram bem próximos.

Através dos resultados da Tabela 48, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para o croma da crosta dos PC, P32 e P62. Para os P62 (Tabela 51), não foi possível estabelecer um modelo para esta resposta em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ). No entanto, para os PC e os P32, foi possível a obtenção do modelo. As Tabelas 49 e 50 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para  $C^*$  da crosta destes pães.

**Tabela 49:** Coeficientes de regressão para a resposta croma da crosta dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	30,21	0,10	317,33	<0,0001
FT (L)*	-0,57	0,05	-11,10	0,0016
FT (Q)*	-0,27	0,05	-5,01	0,0153
AR (L)*	0,48	0,05	9,27	0,0027
AR (Q)	-0,13	0,05	-2,34	0,1016
LBG (L)	-0,02	0,05	-0,39	0,7255
LBG (Q)*	-0,39	0,05	-7,25	0,0054
FT x AR	-0,02	0,07	-0,33	0,7606
FT x LBG	-0,11	0,07	-1,56	0,2173
AR x LBG	0,16	0,07	2,41	0,0950

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 50:** Coeficientes de regressão para a resposta coroma da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	32,27	0,14	223,32	<0,0001
FT (L)*	-1,08	0,08	-13,81	0,0008
FT (Q)	0,06	0,08	0,74	0,5125
AR (L)	-0,24	0,08	-3,06	0,0549
AR (Q)	-0,17	0,08	-2,06	0,1313
LBG (L)*	0,58	0,08	7,46	0,0050
LBG (Q)	0,02	0,08	0,20	0,8559
FT x AR	-0,07	0,10	-0,64	0,5704
FT x LBG	0,29	0,10	2,81	0,0673
AR x LBG	-0,05	0,10	-0,46	0,6741

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 51:** Coeficientes de regressão para a resposta coroma da crosta dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	31,65	0,88	36,09	<0,0001
FT (L)	-0,67	0,48	-1,40	0,2556
FT (Q)	-0,24	0,49	-0,48	0,6638
AR (L)	-0,20	0,48	-0,43	0,6986
AR (Q)	-0,03	0,49	-0,05	0,9600
LBG (L)	0,51	0,48	1,08	0,3596
LBG (Q)	0,18	0,49	0,36	0,7422
FT x AR	0,82	0,62	1,32	0,2778
FT x LBG	-0,38	0,62	-0,61	0,5850
AR x LBG	0,16	0,62	0,26	0,8147

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

As ANOVAs (Tabelas 52 e 53) correspondentes aos modelos apresentaram uma boa variação explicada para o valor de  $C^*$  da crosta para os PC e P32 (79,43% e 83,68%, respectivamente) e, no teste F, os valores calculados foram maiores que os tabelados, a 95% de confiança.

**Tabela 52:** ANOVA para a resposta coroma da crosta dos pães convencionais.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	9,78	4	2,44	12,55
resíduos	2,53	13	0,19	
falta de ajuste	2,42	10	0,24	
erro puro	0,11	3	0,04	
total	12,31	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7943;  $F_{4; 13; 0,05} = 3,18$

**Tabela 53:** ANOVA para a resposta coroma da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	20,62	2	10,31	38,44
resíduos	4,02	15	0,27	
falta de ajuste	3,77	12	0,31	
erro puro	0,25	3	0,08	
total	24,65	17		

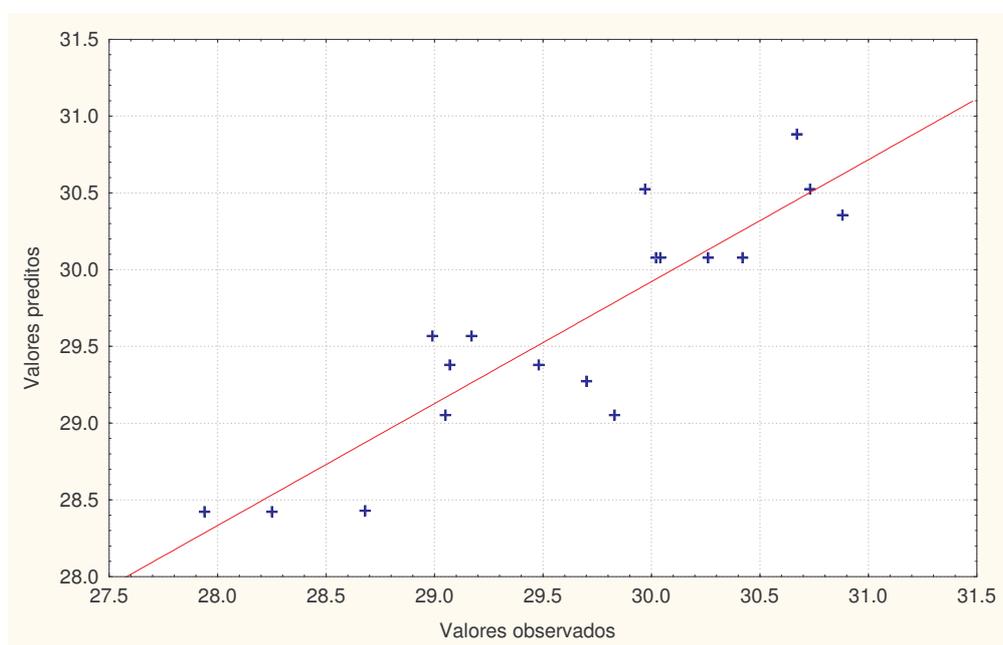
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8368;  $F_{2; 15; 0,05} = 3,68$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs para os PC e P32, pôde-se obter os modelos com as variáveis codificadas que descrevem o comportamento de  $C^*$  da crosta destes pães, expressos nas Equações 16 e 17. Os modelos ajustados apresentam uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pelas Figuras 24 e 25. No Anexo FE também podem ser verificados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Logo, foi possível construir as

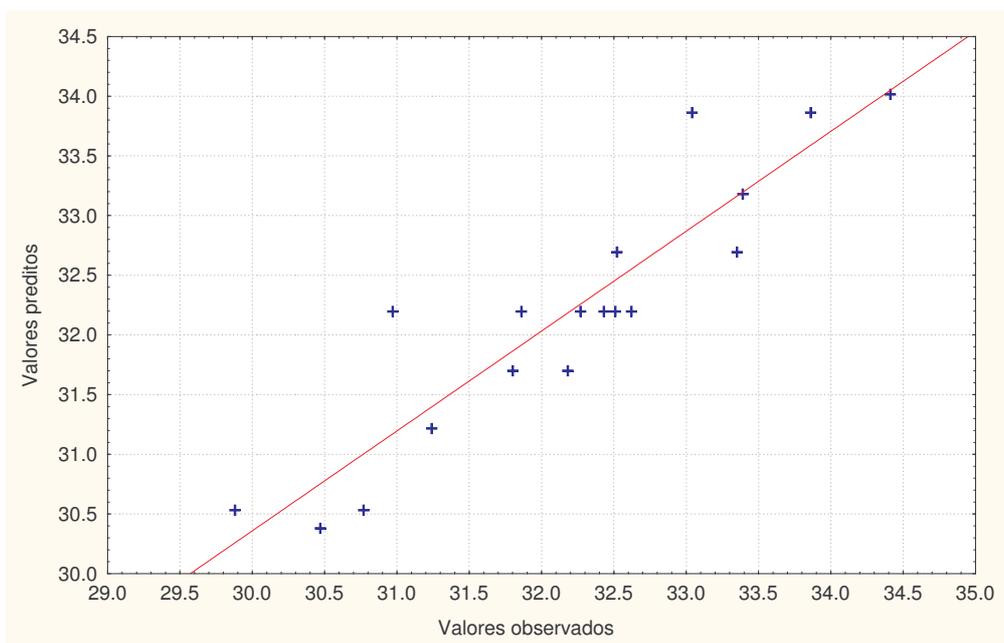
superfícies de resposta e curvas de contorno do  $C^*$  da crosta dos PC e P32, apresentadas nas Figuras 26 e 27.

$$C^* \text{ da crosta dos PC} = 30,08 - 0,57 FT - 0,24 FT^2 + 0,48 AR - 0,36 LBG^2 \quad (16)$$

$$C^* \text{ da crosta dos P32} = 32,20 - 1,08 FT + 0,58 LBG \quad (17)$$

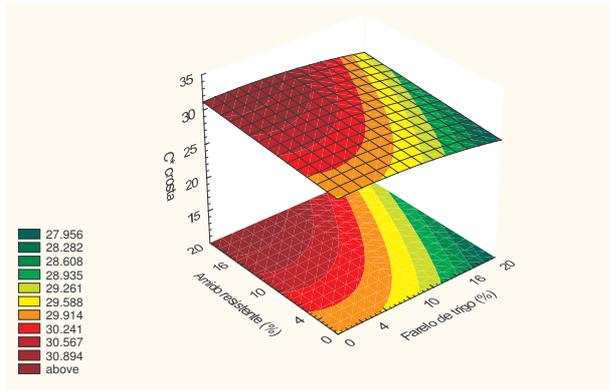


**Figura 24:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do croma da crosta dos pães convencionais.

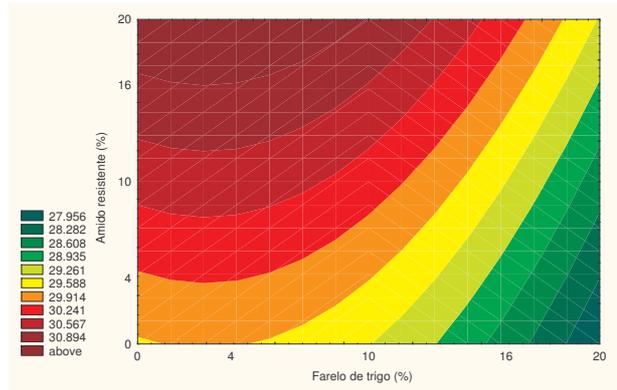


**Figura 25:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do croma da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

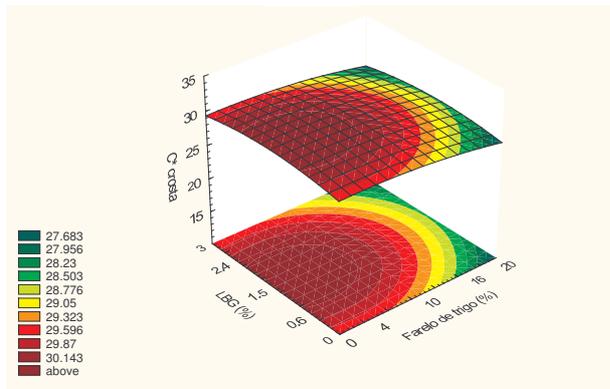
Analisando as superfícies de resposta e curvas de contorno dos PC, podemos verificar uma região de maior intensidade de saturação da cor da crosta, onde se encontra uma faixa de combinações de farelo de trigo (menor que 10%), amido resistente (maior que 16%) e LBG (entre 0,6% e 2,4%), dentro das faixas estudadas. Para os P32, crosta de cor mais saturada, ou seja, com maior intensidade de “pigmentação” também foi obtida com a adição de farelo de trigo abaixo de 10%. No entanto, o amido resistente não teve influência nos valores de  $C^*$  da crosta destes pães.



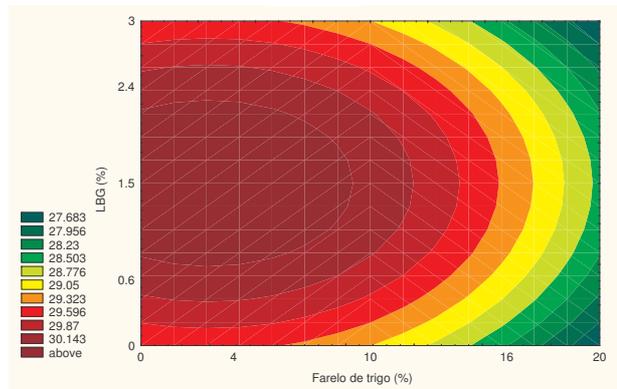
(a)



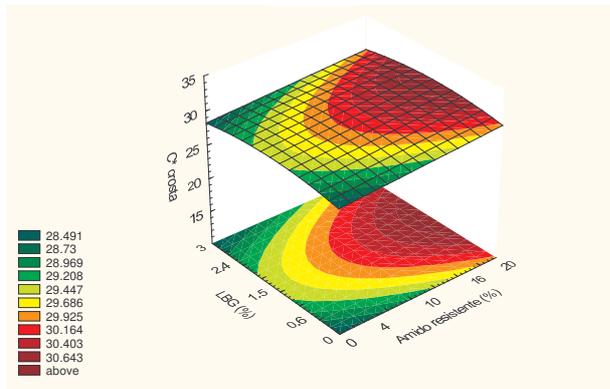
(b)



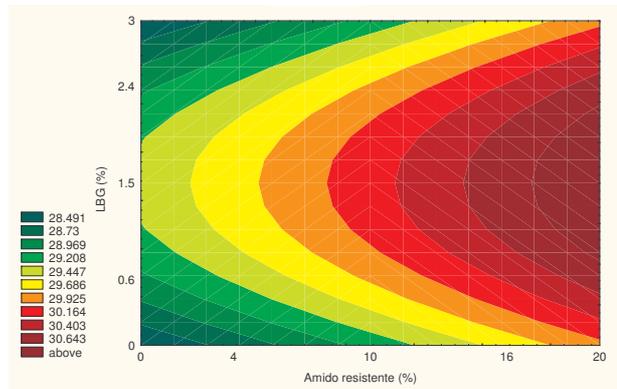
(c)



(d)

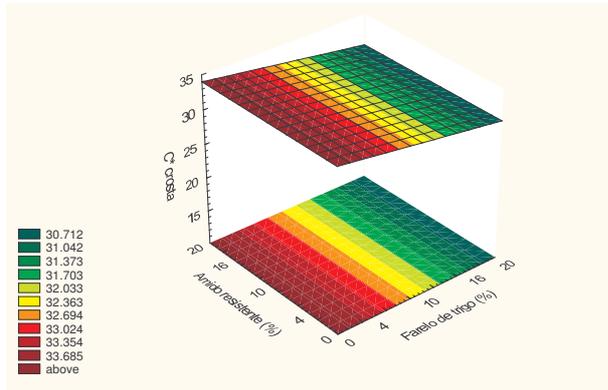


(e)

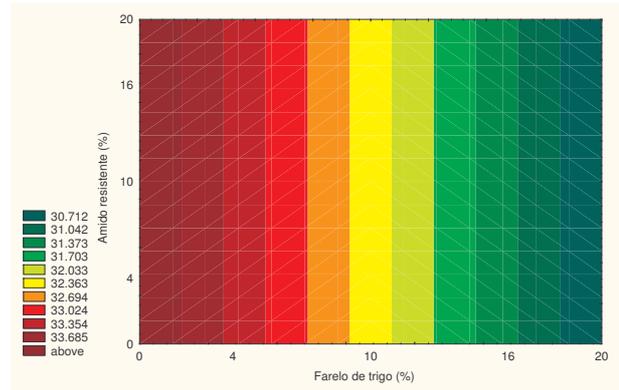


(f)

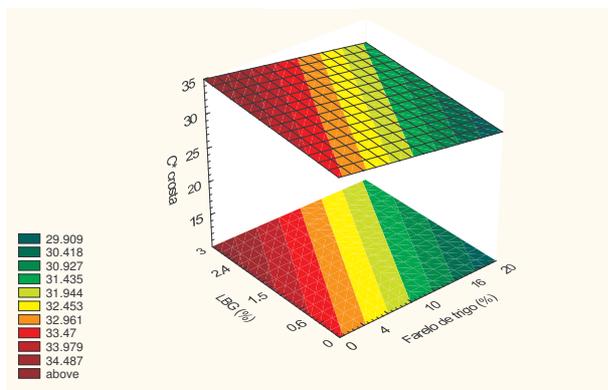
**Figura 26:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o croma da crosta dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



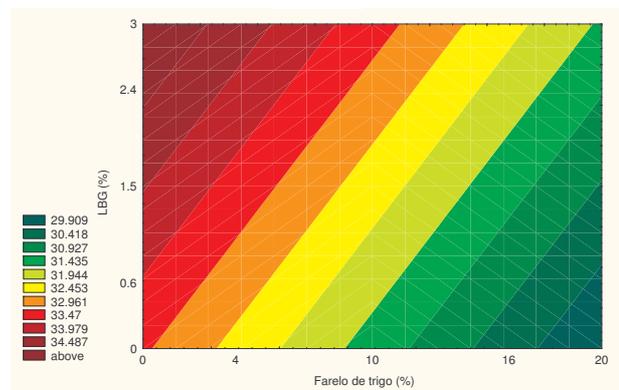
(a)



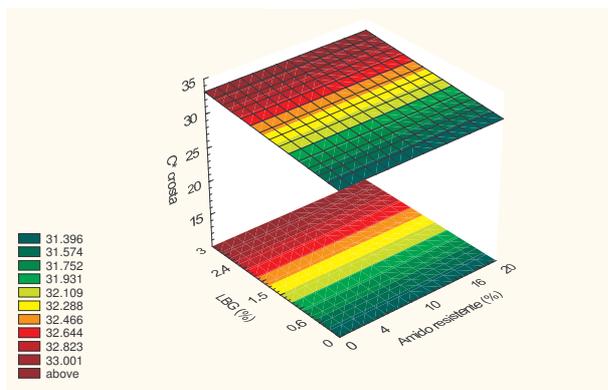
(b)



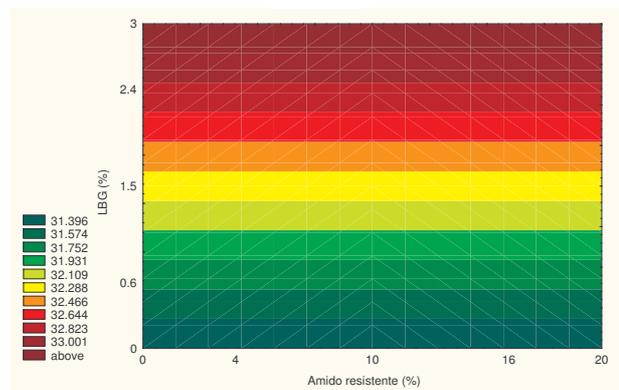
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 27:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o croma da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

#### 4.3.2.1.3. Ângulo de tonalidade (h) da crosta

A Tabela 54 apresenta os valores do ângulo de tonalidade (h) da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 54:** Ângulo de tonalidade da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Ângulo de tonalidade da crosta		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	63,22 ± 0,15	66,99 ± 0,39	67,13 ± 0,92
2	+1	-1	-1	63,43 ± 0,98	64,74 ± 0,62	62,79 ± 0,24
3	-1	+1	-1	65,01 ± 0,20	67,87 ± 0,45	71,76 ± 1,79
4	+1	+1	-1	64,57 ± 0,27	69,53 ± 0,57	66,42 ± 0,21
5	-1	-1	+1	63,18 ± 0,63	66,87 ± 1,70	65,26 ± 1,16
6	+1	-1	+1	62,13 ± 0,39	66,07 ± 0,12	64,99 ± 0,91
7	-1	+1	+1	64,77 ± 0,31	67,49 ± 0,56	66,31 ± 0,50
8	+1	+1	+1	64,65 ± 0,45	67,74 ± 0,46	68,59 ± 0,40
9	-1,68	0	0	63,29 ± 0,52	66,48 ± 0,36	71,06 ± 1,78
10	+1,68	0	0	63,98 ± 0,71	67,73 ± 0,73	66,07 ± 0,90
11	0	-1,68	0	63,31 ± 0,87	64,94 ± 0,36	65,00 ± 0,54
12	0	+1,68	0	64,86 ± 0,60	69,61 ± 0,94	66,24 ± 0,67
13	0	0	-1,68	64,76 ± 0,09	67,73 ± 0,61	66,65 ± 0,42
14	0	0	+1,68	63,95 ± 0,01	66,97 ± 0,34	64,26 ± 1,16
15	0	0	0	64,70 ± 0,20	65,99 ± 0,52	68,44 ± 0,41
16	0	0	0	63,90 ± 0,16	67,21 ± 0,61	65,36 ± 0,56
17	0	0	0	64,63 ± 0,41	67,06 ± 0,18	68,85 ± 1,01
18	0	0	0	63,82 ± 0,57	66,09 ± 0,10	66,68 ± 0,37

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Os valores do ângulo de tonalidade (h) da crosta dos PC, P32 e P62 ficaram nos intervalos de 62,13° e 65,01°, 64,74° e 69,61°, 62,79° e 71,76°, respectivamente. Pelos valores destes intervalos pode-se constatar que a cor da crosta de todos os pães se situa no primeiro quadrante do diagrama de cor, estando entre os eixos +a (vermelho) e + b (amarelo). No entanto, constata-se que todos os valores foram superiores a 45°. Logo, a cor da crosta dos pães tende mais ao amarelo do que ao vermelho.

Através dos resultados da Tabela 54, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para o ângulo de tonalidade da crosta dos PC, P32 e P62. Para os PC e P62 (Tabelas 55 e 57), não foi possível estabelecer um modelo para a resposta h da crosta em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos P62. Para os PC, apesar do fator linear do amido resistente ter sido significativo, não pôde-se chegar a um modelo que explique os dados experimentais, já que o coeficiente de determinação foi muito baixo e os resíduos muito altos. No entanto, para os P32, foi possível a obtenção do modelo. Os fatores linear do amido resistente e de interação do farelo de trigo e do amido resistente foram estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). As Tabelas 55, 56 e 57 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para o h da crosta.

**Tabela 55:** Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade da crosta dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	64,27	0,23	275,77	<0,0001
FT (L)	-0,02	0,13	-0,14	0,8983
FT (Q)	-0,25	0,13	-1,92	0,1503
AR (L)*	0,71	0,13	5,59	0,0113
AR (Q)	-0,09	0,13	-0,71	0,5289
LBG (L)	-0,21	0,13	-1,66	0,1956
LBG (Q)	<0,01	0,13	0,02	0,9873
FT x AR	0,04	0,17	0,21	0,8456
FT x LBG	-0,12	0,17	-0,71	0,5279
AR x LBG	0,15	0,17	0,89	0,4373

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 56:** Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (8)	p - valor
Média*	66,59	0,34	195,86	<0,0001
FT (L)	0,07	0,18	0,38	0,7122
FT (Q)	0,16	0,19	0,82	0,4364
AR (L)*	1,16	0,18	6,28	0,0002
AR (Q)	0,22	0,19	1,13	0,2900
LBG (L)	-0,16	0,18	-0,89	0,3998
LBG (Q)	0,24	0,19	1,27	0,2393
FT x AR*	0,62	0,24	2,58	0,0329
FT x LBG	0,01	0,24	0,02	0,9839
AR x LBG	-0,42	0,24	-1,75	0,1174

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 57:** Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	67,32	0,81	83,38	<0,0001
FT (L)	-1,18	0,44	-2,69	0,0746
FT (Q)	0,47	0,45	1,03	0,3775
AR (L)	1,10	0,44	2,51	0,0870
AR (Q)	-0,57	0,45	-1,26	0,2978
LBG (L)	-0,51	0,44	-1,17	0,3278
LBG (Q)	-0,63	0,45	-1,38	0,2601
FT x AR	0,19	0,57	0,34	0,7570
FT x LBG	1,46	0,57	2,56	0,0835
AR x LBG	-0,45	0,57	-0,79	0,4876

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

A ANOVA (Tabela 58) correspondente ao modelo para o h da crosta dos P32 apresentou uma variação explicada de 75,96% e, no teste F, o valor calculado foi 11,26 vezes maior que o valor tabelado, a 95% de significância.

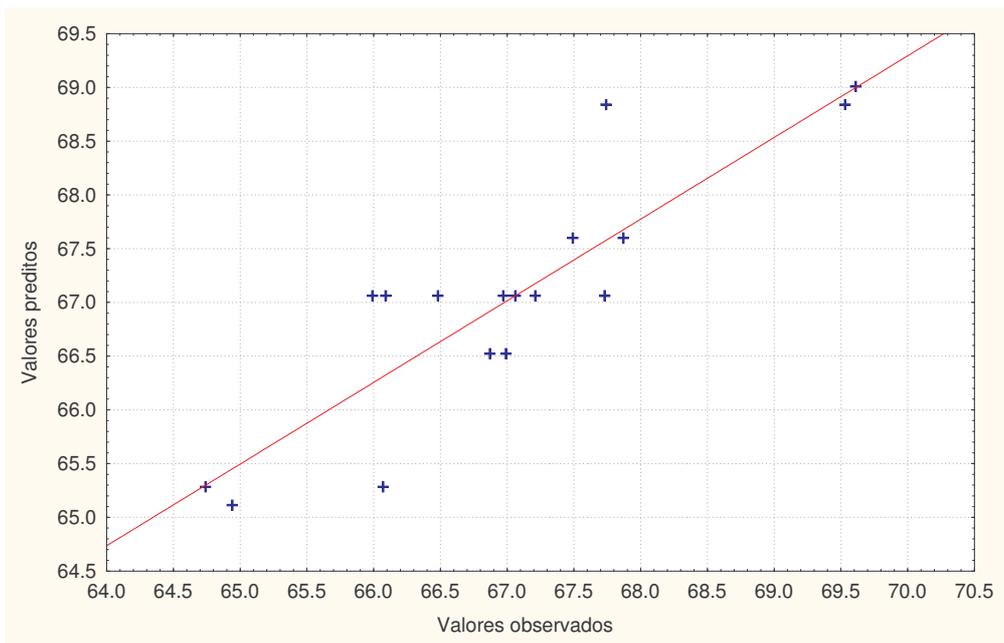
**Tabela 58:** ANOVA para a resposta ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	21,39	1	21,39	50,56
resíduos	6,77	16	0,42	
falta de ajuste	5,55	13	0,43	
erro puro	1,22	3	0,41	
total	28,16	17		

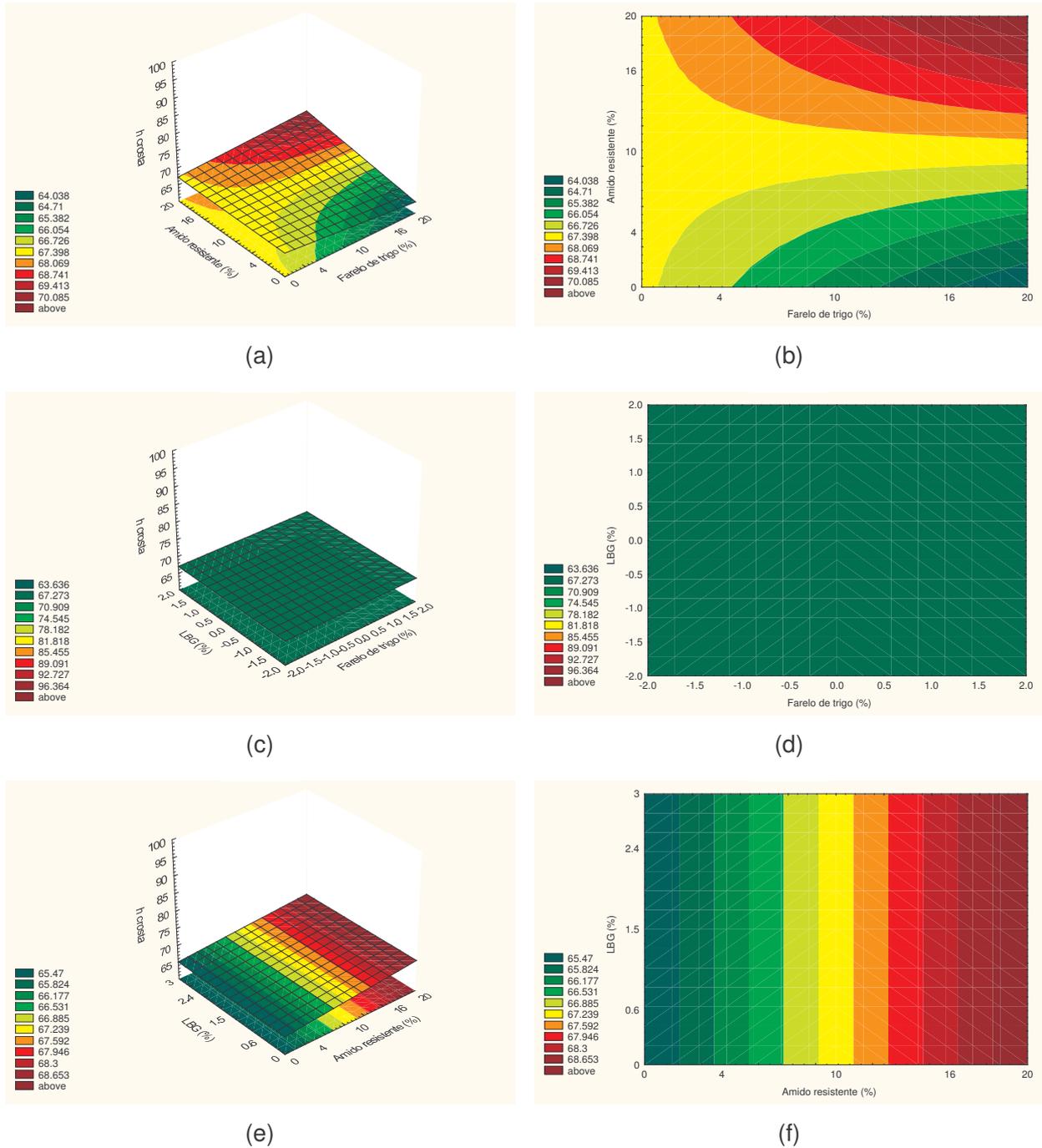
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7596;  $F_{1; 16; 0,05} = 4,49$

Em vista dos resultados satisfatórios da análise de variância para os P32, pôde-se obter o modelo com as variáveis codificadas que descreve o comportamento do  $h$  da crosta destes pães, expresso na Equação 18. O modelo ajustado apresenta uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pela Figura 28. No Anexo FF também podem ser verificados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno do  $h$  da crosta dos P32, apresentadas na Figura 29.

$$h \text{ da crosta dos P32} = 67,06 + 1,16 \text{ AR} + 0,62 \text{ FT AR} \quad (18)$$



**Figura 28:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.



**Figura 29:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o ângulo de tonalidade da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

As superfícies de resposta e curvas de contorno do h da crosta dos P32 mostram a não interferência da LBG nesta resposta. Adição acima de 16% de amido resistente proporcionou crosta com coloração tendendo mais ao amarelo, estando o farelo de trigo adicionado em qualquer concentração dentro da faixa estudada. No entanto, este efeito foi mais evidente em concentrações maiores de farelo de trigo.

#### **4.3.2.2. Cor instrumental do miolo**

##### **4.3.2.2.1. Luminosidade (L\*) do miolo**

A Tabela 59 apresenta os valores da luminosidade (L\*) do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 59:** Luminosidade do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Luminosidade do miolo		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	72,52 ± 0,80	70,89 ± 0,37	70,72 ± 0,52
2	+1	-1	-1	63,92 ± 0,48	63,53 ± 0,61	61,24 ± 1,02
3	-1	+1	-1	72,74 ± 0,81	71,73 ± 0,63	72,63 ± 0,69
4	+1	+1	-1	64,21 ± 0,80	64,00 ± 0,26	64,62 ± 0,19
5	-1	-1	+1	70,37 ± 0,53	71,94 ± 0,40	71,67 ± 0,92
6	+1	-1	+1	62,58 ± 0,66	63,56 ± 1,50	61,86 ± 1,23
7	-1	+1	+1	69,82 ± 0,70	71,80 ± 0,20	69,43 ± 1,31
8	+1	+1	+1	63,08 ± 0,81	62,76 ± 1,08	62,51 ± 0,83
9	-1,68	0	0	74,67 ± 0,53	74,67 ± 0,79	74,27 ± 1,94
10	+1,68	0	0	60,15 ± 1,13	61,01 ± 0,33	60,63 ± 0,95
11	0	-1,68	0	66,63 ± 1,04	63,84 ± 0,86	63,90 ± 0,82
12	0	+1,68	0	67,79 ± 0,30	67,43 ± 0,03	65,88 ± 1,13
13	0	0	-1,68	68,71 ± 0,78	66,78 ± 1,22	65,59 ± 0,57
14	0	0	+1,68	65,05 ± 0,68	66,55 ± 2,16	67,33 ± 0,13
15	0	0	0	67,53 ± 0,84	66,63 ± 0,19	67,11 ± 0,97
16	0	0	0	66,12 ± 0,73	67,19 ± 0,47	66,61 ± 1,16
17	0	0	0	66,66 ± 1,07	66,56 ± 1,02	66,73 ± 0,81
18	0	0	0	66,85 ± 0,92	67,39 ± 0,55	66,39 ± 0,85

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Os valores da luminosidade (L\*) do miolo dos PC, P32 e P62 ficaram nos intervalos de 62,58 e 74,67, 61,01 e 74,67, 61,24 e 74,27, respectivamente. Observa-se que os maiores valores de L\* ocorreram no ensaio 09, onde o farelo de trigo estava ausente (nível -1,68).

Através dos resultados da Tabela 59, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para a luminosidade do miolo dos PC, P32 e P62. Assim, as Tabelas 60, 61 e 62 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para L\* do miolo.

**Tabela 60:** Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade do miolo dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	66,78	0,29	229,73	<0,0001
FT (L)*	-4,11	0,16	-26,06	0,0001
FT (Q)	0,27	0,16	1,62	0,2028
AR (L)	0,18	0,16	1,12	0,3441
AR (Q)	0,20	0,16	1,19	0,3189
LBG (L)*	-1,00	0,16	-6,36	0,0078
LBG (Q)	0,08	0,16	0,48	0,6645
FT x AR	0,14	0,21	0,68	0,5452
FT x LBG	0,32	0,21	1,58	0,2125
AR x LBG	-0,07	0,21	-0,34	0,7562

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 61:** Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	66,90	0,20	326,45	<0,0001
FT (L)*	-4,06	0,11	-36,58	<0,0001
FT (Q)*	0,50	0,12	4,30	0,0231
AR (L)*	0,47	0,11	4,22	0,0243
AR (Q)	-0,28	0,12	-2,45	0,0913
LBG (L)	-0,03	0,11	-0,31	0,7739
LBG (Q)	0,08	0,12	0,70	0,5338
FT x AR	-0,13	0,15	-0,89	0,4403
FT x LBG	-0,29	0,15	-2,01	0,1384
AR x LBG	-0,28	0,15	-1,94	0,1480

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 62:** Coeficientes de regressão para a resposta luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	66,68	0,15	442,90	<0,0001
FT (L)*	-4,19	0,08	-51,29	<0,0001
FT (Q)*	0,39	0,08	4,61	0,0192
AR (L)*	0,51	0,08	6,31	0,0080
AR (Q)*	-0,51	0,08	-6,07	0,0090
LBG (L)	-0,06	0,08	-0,73	0,5181
LBG (Q)	0,04	0,08	0,48	0,6656
FT x AR*	0,54	0,11	5,11	0,0145
FT x LBG	0,09	0,11	0,89	0,4385
AR x LBG*	-0,86	0,11	-8,07	0,0040

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabelas 60, 61 e 62), observa-se que o fator que tem maior influência na luminosidade do miolo dos PC, P32 e P62 é o fator linear do farelo de trigo, que contribui para um decréscimo do valor deste parâmetro. Nos pães pré-assados, observa-se que o amido resistente teve influência no valor de  $L^*$ , o que não ocorreu nos pães convencionais. Os valores médios de  $L^*$  do miolo foram muito próximos para os PC, P32 e P62.

As ANOVAs (Tabelas 63, 64 e 65) correspondentes aos modelos apresentaram uma variação explicada de 98,12%, 96,31% e 98,01%, respectivamente para o valor de  $L^*$  do miolo dos PC, P32 e P62. No teste F, os valores calculados sempre foram maiores do que os valores tabelados, a 95% de confiança.

**Tabela 63:** ANOVA para a resposta luminosidade do miolo dos pães convencionais.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	244,02	2	122,01	391,47
resíduos	4,68	15	0,31	
falta de ajuste	3,66	12	0,30	
erro puro	1,02	3	0,34	
total	248,69	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,9812;  $F_{2; 15; 0,05} = 3,68$

**Tabela 64:** ANOVA para a resposta luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	232,27	3	77,42	121,81
resíduos	8,90	14	0,64	
falta de ajuste	8,39	11	0,76	
erro puro	0,51	3	0,17	
total	241,17	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,9631;  $F_{3; 14; 0,05} = 3,34$

**Tabela 65:** ANOVA para a resposta luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	257,81	6	42,97	90,43
resíduos	5,23	11	0,48	
falta de ajuste	4,95	8	0,62	
erro puro	0,27	3	0,09	
total	263,04	17		

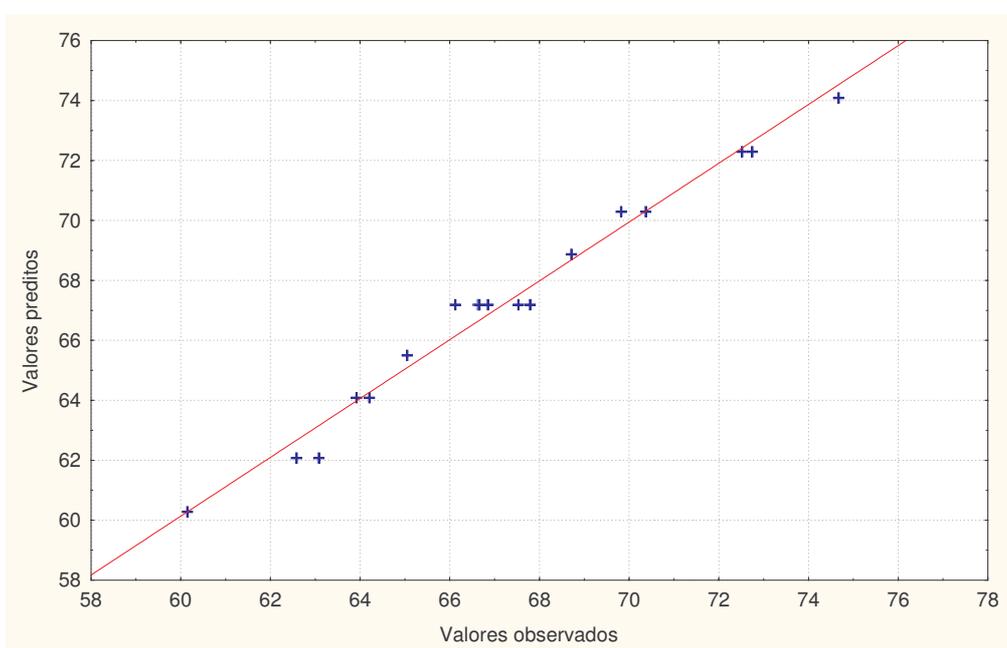
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,9801;  $F_{6; 11; 0,05} = 3,09$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs pôde-se obter os modelos com as variáveis codificados que descrevem o comportamento de  $L^*$  do miolo dos PC, P32 e P62, expressos nas Equações 19, 20 e 21. Os modelos ajustados apresentam uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pelas Figuras 30, 31 e 32. Nos Anexo FF e FG também podem ser verificados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno da luminosidade do miolo dos pães, apresentadas nas Figuras 33, 34 e 35.

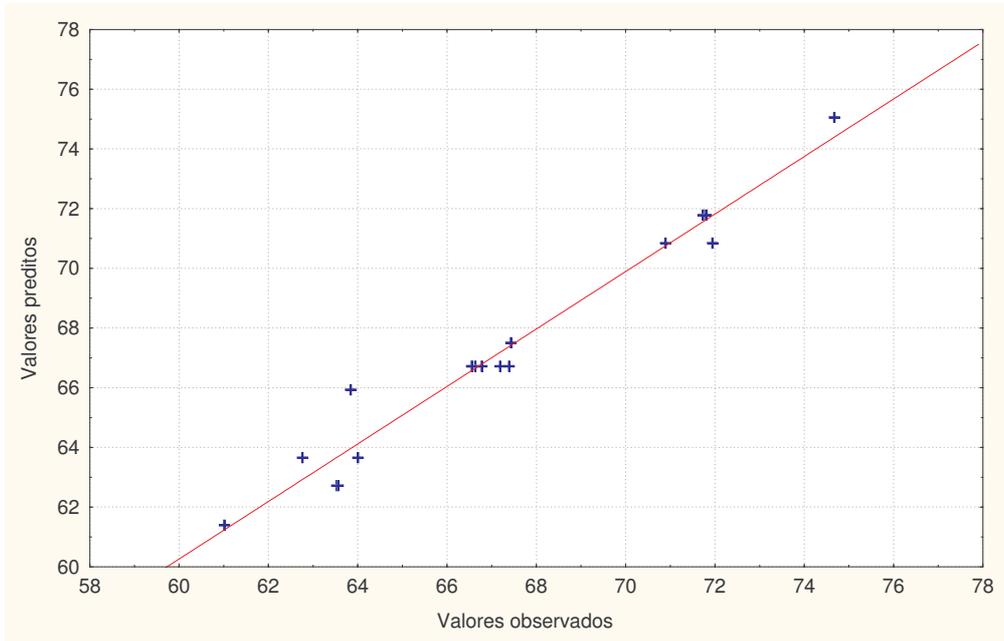
$$L^* \text{ do miolo dos PC} = 67,19 - 4,11 \text{ FT} - 1,00 \text{ LBG} \quad (19)$$

$$L^* \text{ do miolo dos P32} = 66,72 - 4,06 \text{ FT} + 0,53 \text{ FT}^2 + 0,47 \text{ AR} \quad (20)$$

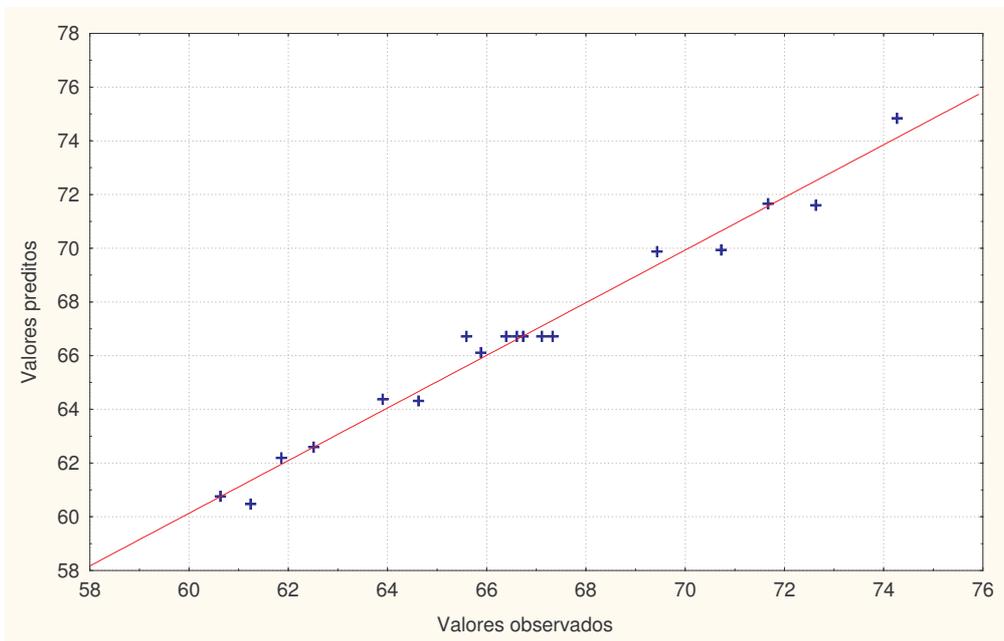
$$L^* \text{ do miolo dos P62} = 66,72 - 4,19 \text{ FT} + 0,38 \text{ FT}^2 + 0,51 \text{ AR} - 0,52 \text{ AR}^2 + 0,55 \text{ FT AR} - 0,86 \text{ AR LBG} \quad (21)$$



**Figura 30:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da luminosidade do miolo dos pães convencionais.



**Figura 31:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

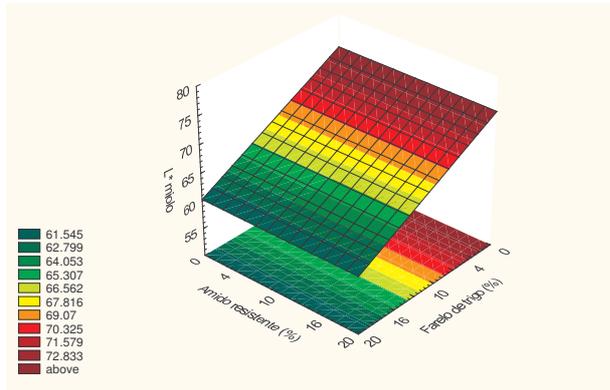


**Figura 32:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

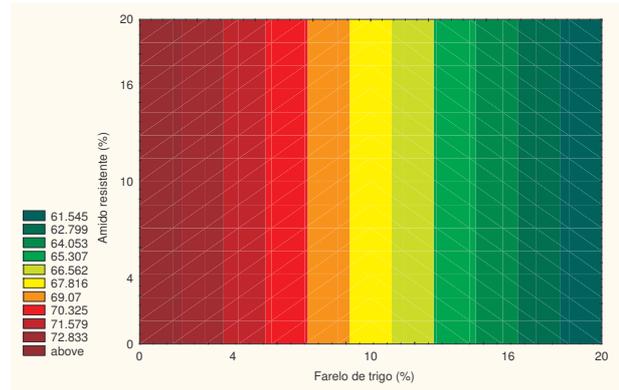
As superfícies de resposta e curvas de contorno mostram que os pães (PC, P32 e P62) que possuem adição de farelo de trigo acima de 10% são os que apresentam miolos mais escuros, dentro da faixa estudada. Em concordância com os estudos de Basman e Köksel (1999, 2001), Pomeranz, Shogren e Finney (1976) e Pomeranz *et al.* (1977), quanto maior a adição desta fonte de fibra, menor é o valor de L\*. O comportamento desta fonte de fibra no miolo foi semelhante ao seu comportamento na luminosidade da crosta.

Nos PC, o amido resistente não teve interferência. Já nos pães pré-assados, verifica-se que quanto maior a adição desta fonte de fibra alimentar, mais claro é o miolo (maior luminosidade). Logo, percebe-se que esta fonte de fibra ou contribuiu para um aumento da luminosidade do miolo ou não interferiu em tal parâmetro. Isto é um indício de que o amido resistente situado no miolo não sofreu hidrólise durante todo o processamento dos pães, quer sejam eles assados convencionalmente ou pré-assados, congelados e posteriormente reassados. Caso esta fonte de fibra sofresse alguma degradação, os açúcares redutores liberados poderiam reagir com grupos aminas de proteínas e levar à formação de compostos escuros (melanoidinas) (ARAÚJO, 2001), causando uma diminuição da luminosidade.

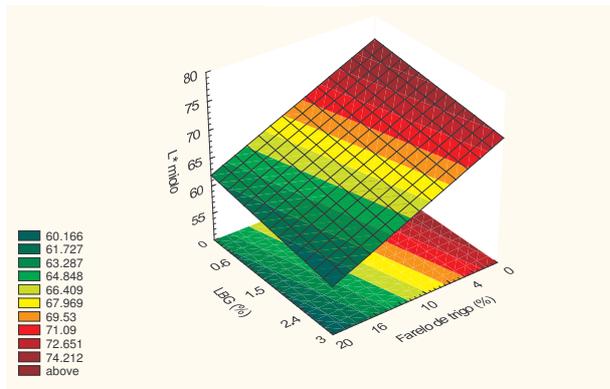
Com relação à LBG, percebe-se que ela contribuiu para uma diminuição da luminosidade do miolo dos PC, o que poderia estar relacionado ao efeito desta fonte de fibra na umidade do miolo (maior umidade, menor luminosidade). Nos pães pré-assados, esta fonte de fibra não teve muita interferência.



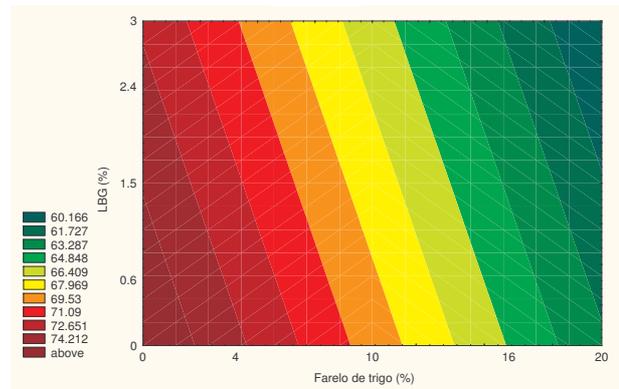
(a)



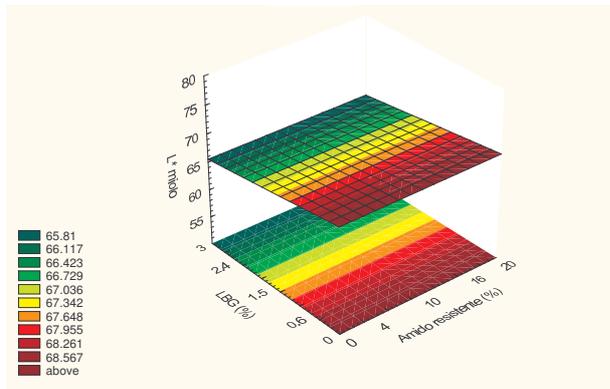
(b)



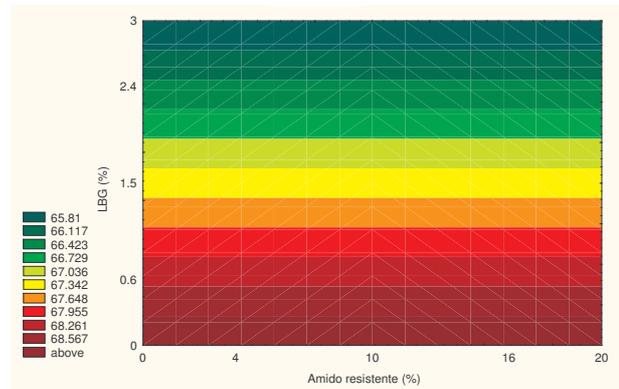
(c)



(d)

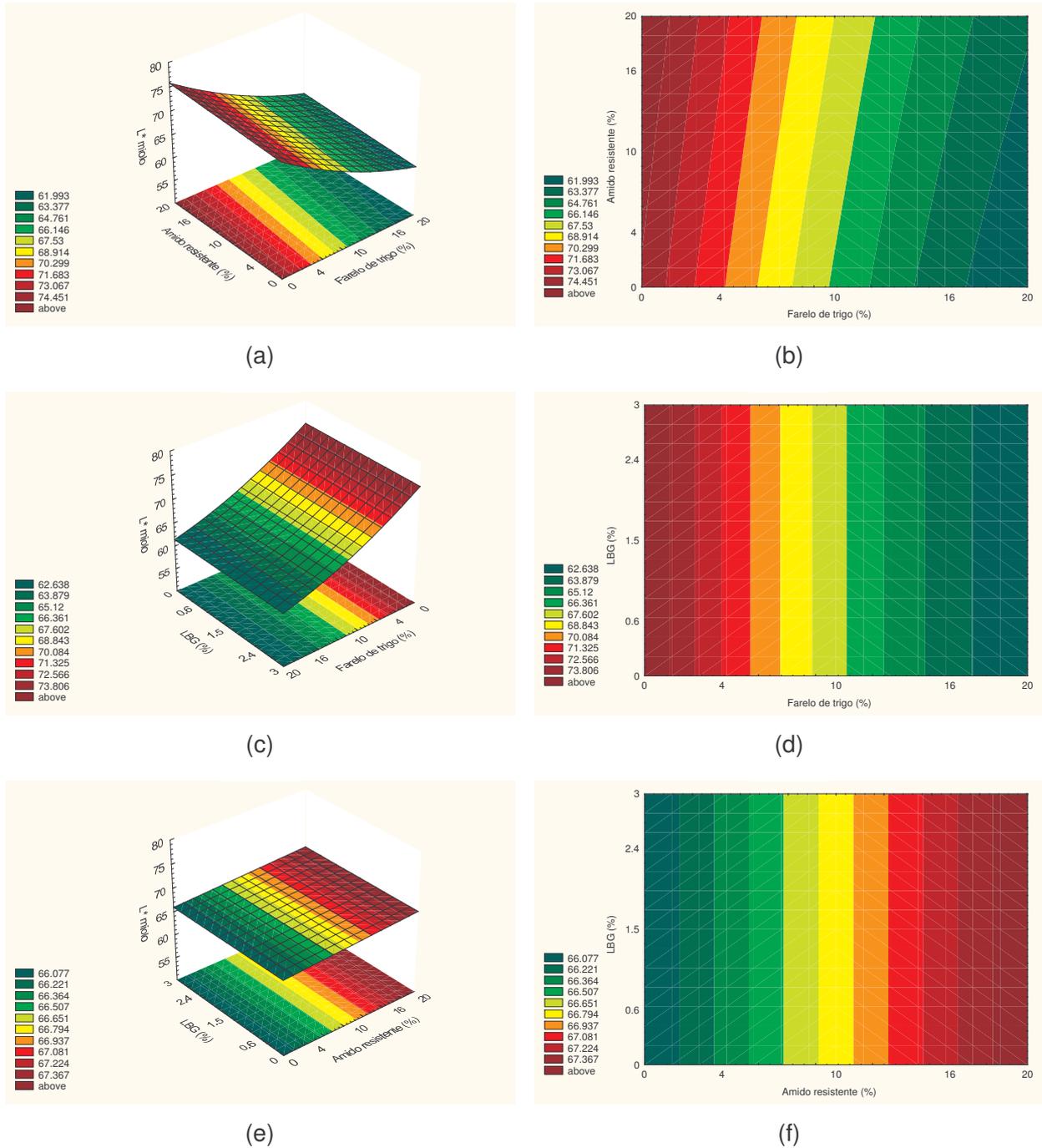


(e)

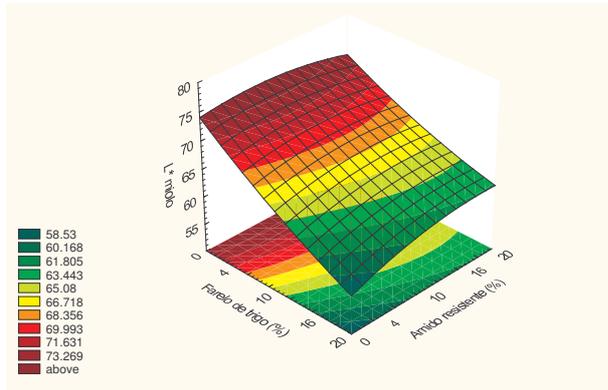


(f)

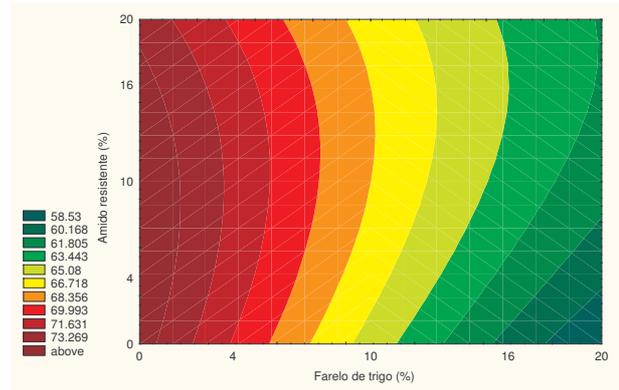
**Figura 33:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a luminosidade do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



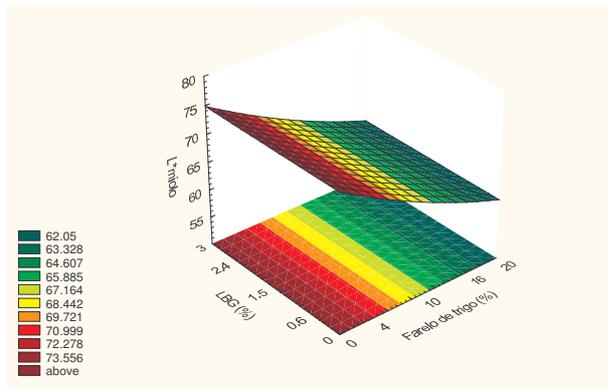
**Figura 34:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG estando a terceira variável fixada no nível 0.



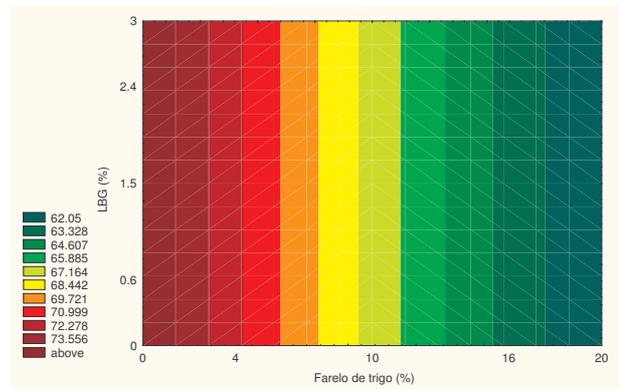
(a)



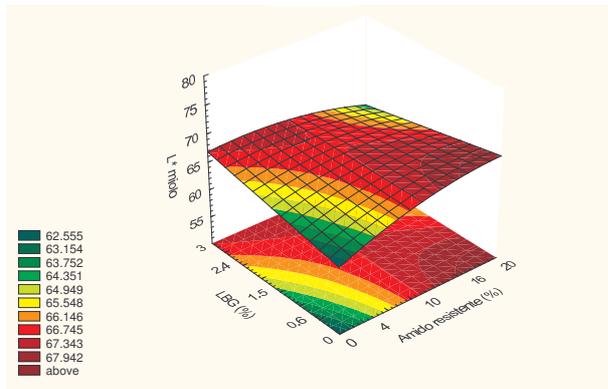
(b)



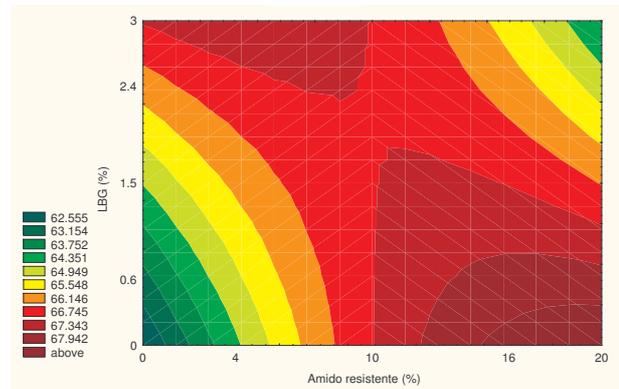
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 35:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a luminosidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG estando a terceira variável fixada no nível 0.

#### 4.3.2.2.2. Cromo (C\*) do miolo

A Tabela 66 apresenta os valores do cromo (C\*) do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 66:** Cromo do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Cromo do miolo		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	15,08 ± 0,18	16,79 ± 0,46	16,77 ± 0,52
2	+1	-1	-1	17,21 ± 0,42	17,82 ± 0,24	18,89 ± 0,46
3	-1	+1	-1	14,50 ± 0,36	16,50 ± 0,35	15,96 ± 0,19
4	+1	+1	-1	16,75 ± 0,21	17,59 ± 0,08	17,57 ± 0,51
5	-1	-1	+1	14,86 ± 0,28	16,49 ± 0,15	16,64 ± 0,13
6	+1	-1	+1	16,48 ± 0,38	17,35 ± 0,15	18,18 ± 0,16
7	-1	+1	+1	14,56 ± 0,23	15,94 ± 0,09	17,41 ± 0,26
8	+1	+1	+1	16,91 ± 0,23	16,69 ± 0,31	17,43 ± 0,63
9	-1,68	0	0	14,08 ± 0,39	16,16 ± 0,96	16,60 ± 0,84
10	+1,68	0	0	17,59 ± 0,23	17,92 ± 0,37	18,25 ± 0,13
11	0	-1,68	0	15,94 ± 0,14	18,26 ± 0,16	19,40 ± 0,51
12	0	+1,68	0	15,12 ± 0,15	16,38 ± 0,54	16,33 ± 0,14
13	0	0	-1,68	15,57 ± 0,10	16,63 ± 0,44	16,82 ± 0,12
14	0	0	+1,68	15,07 ± 0,61	15,71 ± 0,36	17,48 ± 0,07
15	0	0	0	15,82 ± 0,22	17,21 ± 0,22	16,43 ± 0,14
16	0	0	0	15,39 ± 0,20	16,10 ± 0,06	16,40 ± 0,10
17	0	0	0	15,08 ± 0,43	16,58 ± 0,18	17,37 ± 0,31
18	0	0	0	15,83 ± 0,30	16,94 ± 0,35	17,41 ± 0,26

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Os valores do croma (C\*) do miolo dos PC, P32 e P62 ficaram nos intervalos de 14,08 e 17,59, 15,94 e 18,26, 15,96 e 19,40, respectivamente. Observa-se que para os PC, o menor e o maior valor de C\* ocorreram nos ensaios 09 e 10, respectivamente (pontos axiais da adição de farelo de trigo).

Através dos resultados da Tabela 66, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para o croma do miolo dos PC, P32 e P62. Para os PC e P32 (Tabelas 67 e 68), observou-se que o fator linear do farelo de trigo teve efeito positivo nesta resposta. Para os P62 (Tabela 69), apesar dos efeitos lineares do farelo de trigo e do amido resistente terem sido significativos, não foi possível estabelecer um modelo para a resposta C\* do miolo em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Não pôde-se chegar a um modelo que explicasse os dados experimentais, já que o coeficiente de determinação seria muito baixo e os resíduos muito altos.

**Tabela 67:** Coeficientes de regressão para a resposta croma do miolo dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	15,52	0,18	85,53	<0,0001
FT (L)*	1,04	0,10	10,61	0,0018
FT (Q)	0,16	0,10	1,54	0,2205
AR (L)	-0,17	0,10	-1,70	0,1868
AR (Q)	0,05	0,10	0,49	0,6592
LBG (L)	-0,12	0,10	-1,17	0,3266
LBG (Q)	-0,02	0,10	-0,24	0,8266
FT x AR	0,11	0,13	0,83	0,4689
FT x LBG	-0,05	0,13	-0,40	0,7167
AR x LBG	0,15	0,13	1,14	0,3377

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 68:** Coeficientes de regressão para a resposta coroma do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (8)	p - valor
Média*	16,71	0,19	90,16	<0,0001
FT (L)*	0,49	0,10	4,88	0,0012
FT (Q)	0,13	0,10	1,22	0,2575
AR (L)*	-0,36	0,10	-3,57	0,0073
AR (Q)*	0,23	0,10	2,17	0,0620
LBG (L)*	-0,28	0,10	-2,75	0,0249
LBG (Q)	-0,18	0,10	-1,73	0,1222
FT x AR	-0,01	0,13	-0,05	0,9632
FT x LBG	-0,06	0,13	-0,49	0,6401
AR x LBG	-0,09	0,13	-0,66	0,5294

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 90% de confiança ( $p < 0,10$ ).

**Tabela 69:** Coeficientes de regressão para a resposta coroma do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	16,91	0,28	60,13	<0,0001
FT (L)*	0,59	0,15	3,87	0,0304
FT (Q)	0,15	0,16	0,95	0,4125
AR (L)*	-0,53	0,15	-3,49	0,0397
AR (Q)	0,31	0,16	1,93	0,1489
LBG (L)	0,12	0,15	0,76	0,5030
LBG (Q)	0,05	0,16	0,34	0,7594
FT x AR	-0,25	0,20	-1,27	0,2924
FT x LBG	-0,27	0,20	-1,36	0,2664
AR x LBG	0,27	0,20	1,35	0,2700

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

As ANOVAs (Tabelas 70 e 71) correspondentes aos modelos do C\* do miolo dos PC e P32 apresentam uma variação explicada de 88,71% e de 77,65%, respectivamente. No teste F, os valores calculados foram maiores que os valores tabelados.

**Tabela 70:** ANOVA para a resposta coroma do miolo dos pães convencionais.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	14,88	1	14,88	125,71
resíduos	1,89	16	0,12	
falta de ajuste	1,50	13	0,12	
erro puro	0,40	3	0,13	
total	16,77	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8871;  $F_{1; 16; 0,05} = 4,49$

**Tabela 71:** ANOVA para a resposta coroma do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	6,83	4	1,71	11,29
resíduos	1,97	13	0,15	
falta de ajuste	1,27	10	0,13	
erro puro	0,69	3	0,23	
Total	8,80	17		

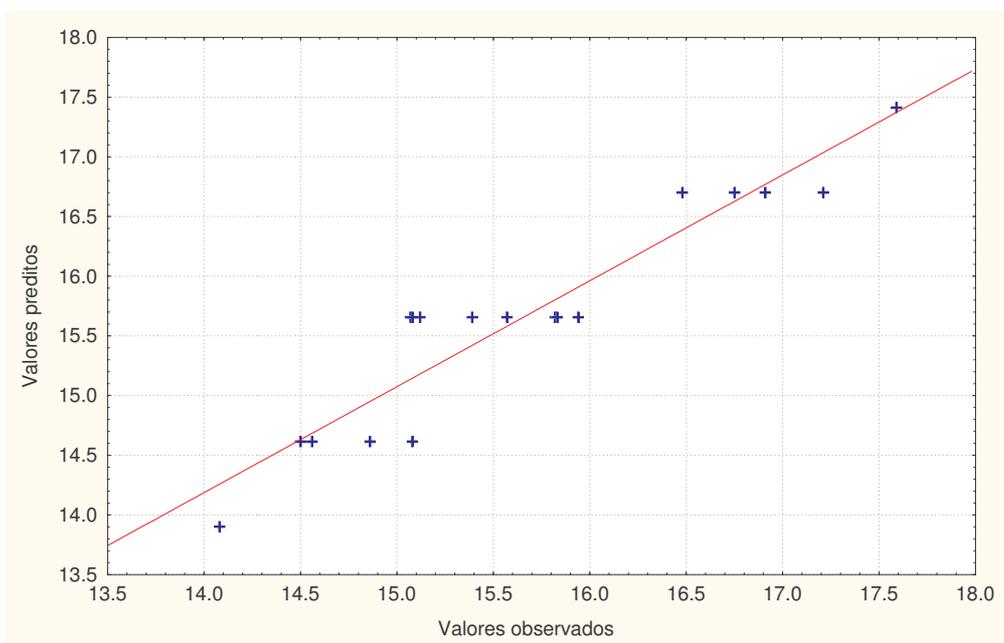
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7765;  $F_{4; 13; 0,10} = 2,43$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs para os PC e P32, pôde-se obter os modelos com as variáveis codificados que descrevem o comportamento do C\* do miolo destes pães, expressos nas Equações 22 e 23. Os modelos ajustados apresentam uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pelas Figuras 36 e 37. No Anexo FG também podem ser verificados os valores experimentais, os previstos pelo modelo

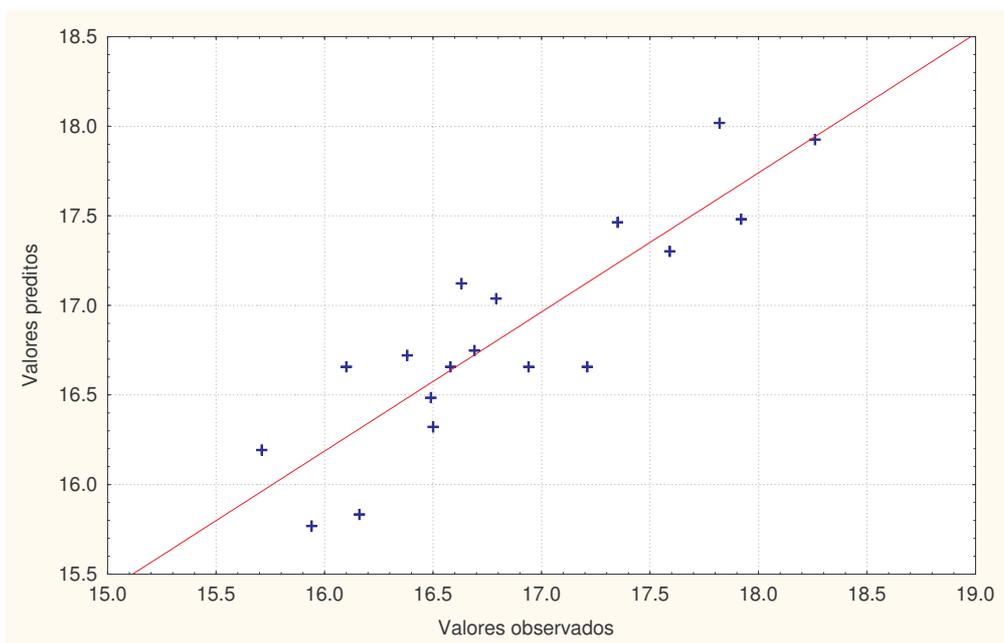
com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno do  $C^*$  do miolo dos PC e P32, apresentadas nas Figuras 38 e 39.

$$C^* \text{ do miolo dos PC} = 15,66 + 1,04 \text{ FT} \quad (22)$$

$$C^* \text{ do miolo dos P32} = 16,66 + 0,49 \text{ FT} - 0,36 \text{ AR} + 0,24 \text{ AR}^2 - 0,28 \text{ LBG} \quad (23)$$

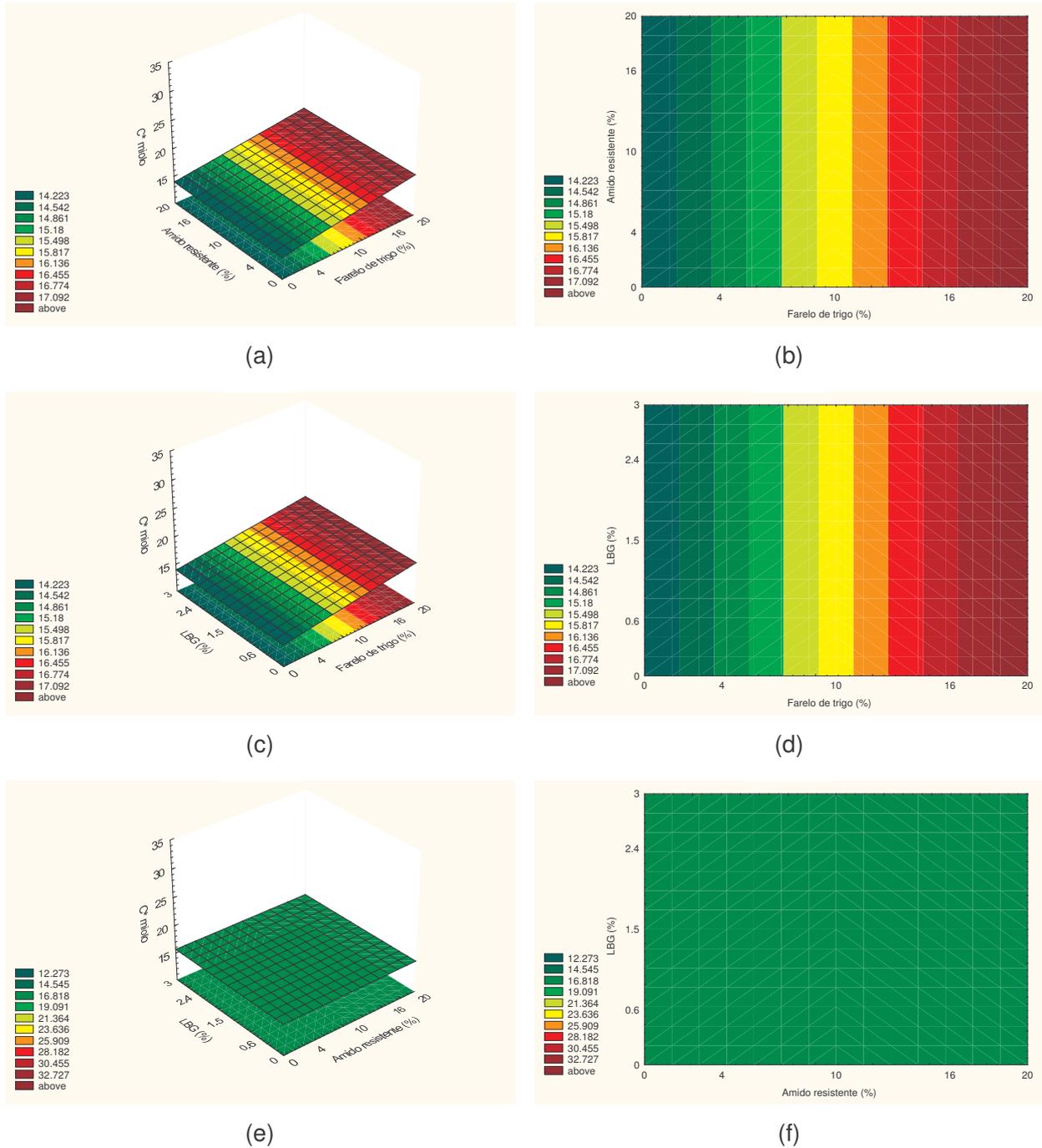


**Figura 36:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do cromatograma do miolo dos pães convencionais.

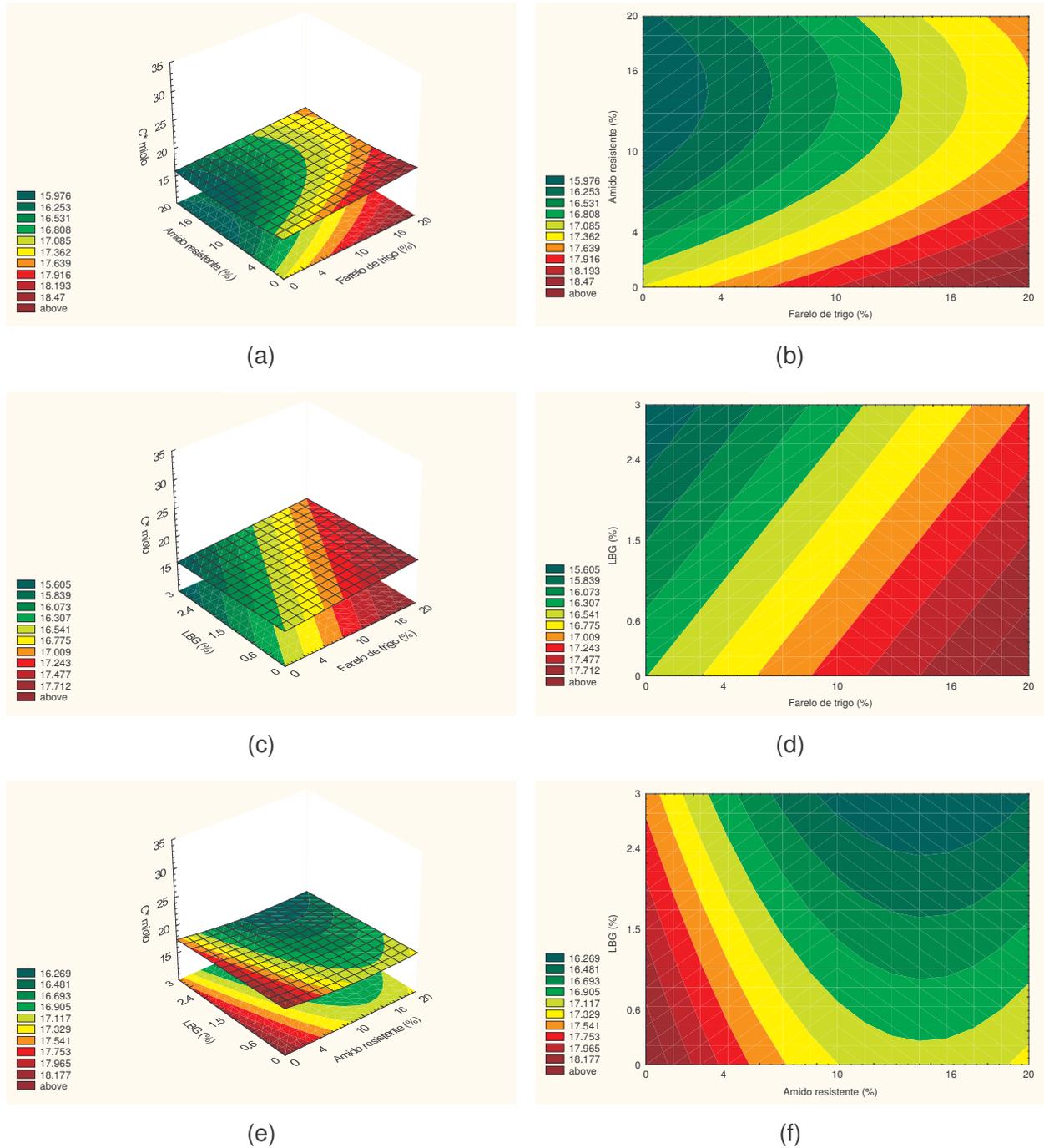


**Figura 37:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do croma do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

As superfícies de resposta e curvas de contorno mostram que quanto maior a adição de farelo de trigo, mais saturada é a cor do miolo (maior  $C^*$ ) dos PC e P32. Dentro da faixa estudada, os pães que possuem adição de farelo de trigo acima de 10% são os que apresentam miolos com cor mais saturada. Para os P32, adições maiores de amido resistente resultaram em menores valores de  $C^*$ . Um miolo de cor mais saturada para estes pães, ou seja, com “pigmentação” mais intensa, é alcançado através da utilização de farelo de trigo acima de 10%, amido resistente abaixo de 10% e LBG abaixo de 1,5%, dentro das faixas estudadas.



**Figura 38:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o cromatismo do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



**Figura 39:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o croma do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

#### 4.3.2.2.3. Ângulo de tonalidade (h) do miolo

A Tabela 72 apresenta os valores do ângulo de tonalidade (h) do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 72:** Ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Ângulo de tonalidade do miolo		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	84,02 ± 0,44	82,47 ± 0,31	81,94 ± 0,93
2	+1	-1	-1	75,60 ± 0,58	74,61 ± 0,12	74,37 ± 0,23
3	-1	+1	-1	85,41 ± 0,76	82,62 ± 0,77	83,34 ± 0,63
4	+1	+1	-1	75,83 ± 0,34	74,57 ± 0,11	75,77 ± 0,27
5	-1	-1	+1	84,71 ± 0,24	82,93 ± 0,37	82,85 ± 0,12
6	+1	-1	+1	76,02 ± 0,24	75,21 ± 0,13	74,20 ± 0,72
7	-1	+1	+1	85,47 ± 0,46	82,83 ± 0,50	81,78 ± 0,14
8	+1	+1	+1	75,55 ± 0,56	75,17 ± 0,41	74,56 ± 0,35
9	-1,68	0	0	90,57 ± 0,32	87,62 ± 1,20	87,13 ± 0,51
10	+1,68	0	0	73,66 ± 0,54	73,67 ± 0,75	73,02 ± 0,30
11	0	-1,68	0	79,04 ± 0,33	76,15 ± 0,67	75,56 ± 0,73
12	0	+1,68	0	80,33 ± 0,24	78,99 ± 0,50	78,59 ± 0,32
13	0	0	-1,68	79,94 ± 0,46	78,49 ± 0,51	77,78 ± 0,66
14	0	0	+1,68	79,64 ± 0,76	81,32 ± 0,47	80,22 ± 0,19
15	0	0	0	79,40 ± 0,52	78,27 ± 0,10	78,52 ± 0,73
16	0	0	0	79,63 ± 0,61	79,23 ± 0,29	78,14 ± 0,91
17	0	0	0	80,49 ± 0,37	78,31 ± 0,76	78,08 ± 0,37
18	0	0	0	79,37 ± 0,19	78,25 ± 0,42	77,80 ± 0,51

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Os valores do ângulo de tonalidade (h) do miolo dos PC, P32 e P62 ficaram nos intervalos de 73,66° e 90,57°, 73,67° e 87,62°, 73,02° e 87,13°, respectivamente. Observa-se que os menores e os maiores valores de h ocorreram nos ensaios 10 e 09, respectivamente, onde as quantidades de farelo de trigo adicionadas eram a máxima e a mínima, respectivamente (pontos axiais). Pelos valores destes intervalos, também pode-se constatar que os miolos de todos os pães se situam predominantemente no primeiro quadrante do diagrama de cor, estando entre os eixos +a (vermelho) e + b (amarelo).

Há a possibilidade de verificação da existência de modelos de 2ª ordem para o ângulo de tonalidade do miolo dos PC, P32 e P62, através dos resultados da Tabela 72. Assim, as Tabelas 73, 74 e 75 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para h do miolo.

**Tabela 73:** Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	79,73	0,26	304,38	<0,0001
FT (L)*	-4,76	0,14	-33,55	0,0001
FT (Q)*	0,79	0,15	5,36	0,0127
AR (L)	0,30	0,14	2,10	0,1261
AR (Q)	-0,07	0,15	-0,46	0,6763
LBG (L)	0,03	0,14	0,20	0,8551
LBG (Q)	-0,03	0,15	-0,21	0,8477
FT x AR	-0,30	0,19	-1,61	0,2057
FT x LBG	-0,08	0,19	-0,41	0,7086
AR x LBG	-0,17	0,19	-0,90	0,4362

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança (p < 0,05).

**Tabela 74:** Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	78,55	0,24	329,59	<0,0001
FT (L)*	-4,01	0,13	-31,04	0,0001
FT (Q)*	0,62	0,13	4,60	0,0193
AR (L)*	0,35	0,13	2,69	0,0744
AR (Q)*	-0,47	0,13	-3,50	0,0396
LBG (L)*	0,49	0,13	3,76	0,0329
LBG (Q)	0,36	0,13	2,65	0,0767
FT x AR	-0,02	0,17	-0,10	0,9294
FT x LBG	0,07	0,17	0,39	0,7209
AR x LBG	-0,03	0,17	-0,19	0,8649

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 75:** Coeficientes de regressão para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	78,14	0,15	528,11	<0,0001
FT (L)*	-4,01	0,08	-49,98	<0,0001
FT (Q)*	0,65	0,08	7,84	0,0043
AR (L)*	0,53	0,08	6,56	0,0072
AR (Q)*	-0,41	0,08	-4,89	0,0164
LBG (L)	0,15	0,08	1,89	0,1547
LBG (Q)*	0,27	0,08	3,28	0,0465
FT x AR	0,18	0,10	1,71	0,1866
FT x LBG	-0,09	0,10	-0,87	0,4479
AR x LBG*	-0,44	0,10	-4,19	0,0248

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabelas 73, 74 e 75), observamos que os fatores linear e quadrático do farelo de trigo tiveram influência significativa no ângulo de tonalidade do miolo dos PC, P32 e P62, possuindo efeitos negativo e positivo nesta repostagem, respectivamente. Nos pães pré-assados, observa-se que o amido resistente e a LBG tiveram influência no valor de h, o que não ocorreu nos pães convencionais. No entanto, o efeito negativo do fator linear do farelo de trigo é consideravelmente maior do que os efeitos dos demais fatores. Os valores médios de h dos miolos foram muito próximos para os PC, P32 e P62.

As ANOVAs (Tabelas 76, 77 e 78) correspondentes aos modelos apresentaram uma variação explicada de 98,70%, 96,26% e 97,47%, respectivamente, para o valor de h do miolo dos PC, P32 e P62. No teste F, os valores calculados foram maiores do que os valores tabelados, a 95% de confiança.

**Tabela 76:** ANOVA para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	318,75	2	159,37	571,84
resíduos	4,18	15	0,28	
falta de ajuste	3,35	12	0,28	
erro puro	0,83	3	0,28	
total	322,93	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,9870;  $F_{2; 15; 0,05} = 3,68$

**Tabela 77:** ANOVA para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	232,17	4	58,04	83,60
resíduos	9,03	13	0,69	
falta de ajuste	8,34	10	0,83	
erro puro	0,68	3	0,23	
total	241,20	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,9626;  $F_{4; 13; 0,05} = 3,18$

**Tabela 78:** ANOVA para a resposta ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	234,77	6	39,13	70,59
resíduos	6,10	11	0,55	
falta de ajuste	5,83	8	0,73	
erro puro	0,26	3	0,09	
total	240,87	17		

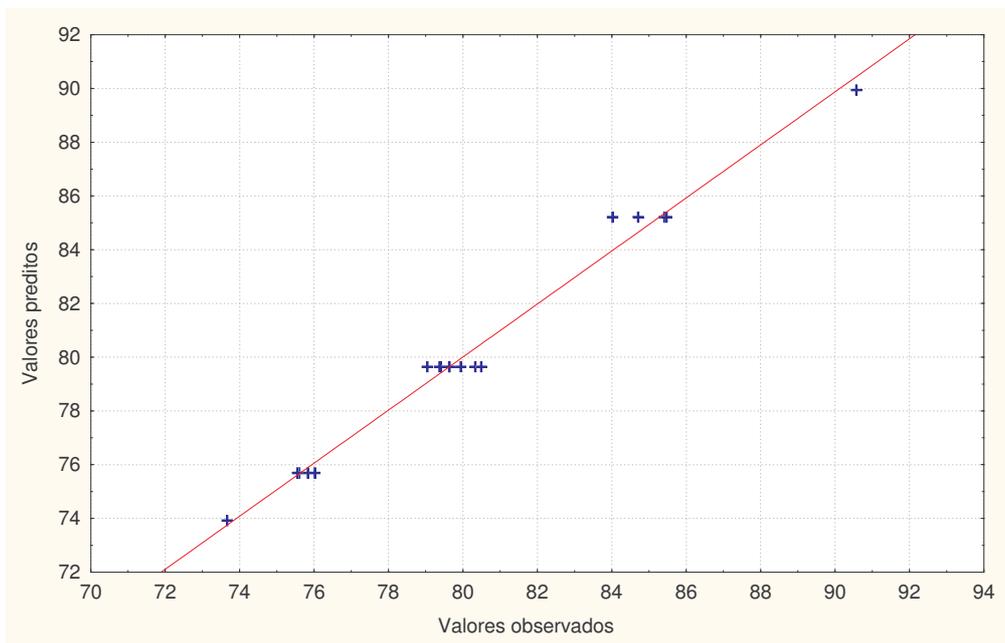
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,9747;  $F_{6; 11; 0,05} = 3,09$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs, pôde-se obter os modelos com as variáveis codificadas que descrevem o comportamento de h do miolo dos PC, P32 e P62, expressos nas Equações 24, 25 e 26. Os modelos ajustados apresentam uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pelas Figuras 40, 41 e 42. Nos Anexo FH também podem ser verificados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno do ângulo de tonalidade do miolo dos pães, apresentadas nas Figuras 43, 14 e 45.

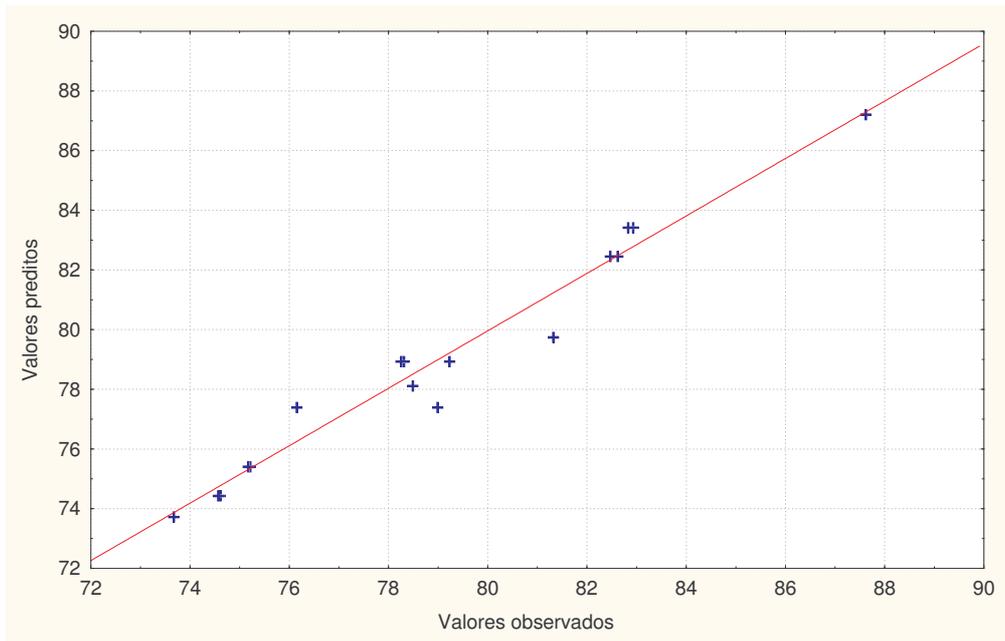
$$h \text{ do miolo dos PC} = 79,65 - 4,76 \text{ FT} + 0,81 \text{ FT}^2 \quad (24)$$

$$h \text{ do miolo dos P32} = 78,93 - 4,01 \text{ FT} + 0,54 \text{ FT}^2 - 0,54 \text{ AR}^2 + 0,49 \text{ LBG} \quad (25)$$

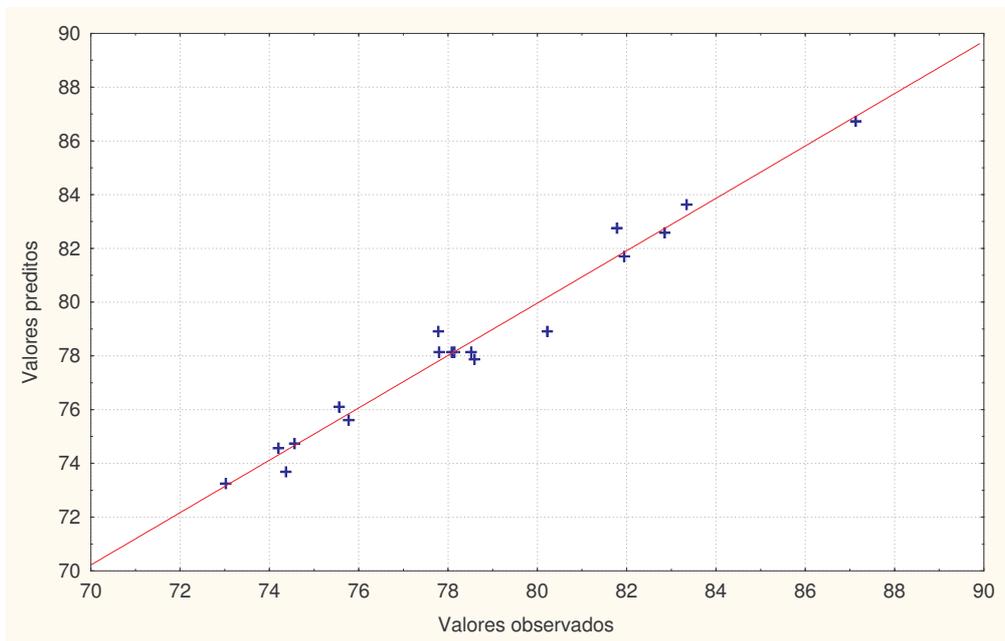
$$h \text{ do miolo dos P62} = 78,14 - 4,01 \text{ FT} + 0,65 \text{ FT}^2 + 0,53 \text{ AR} - 0,41 \text{ AR}^2 + 0,27 \text{ LBG}^2 - 0,44 \text{ AR LBG} \quad (26)$$



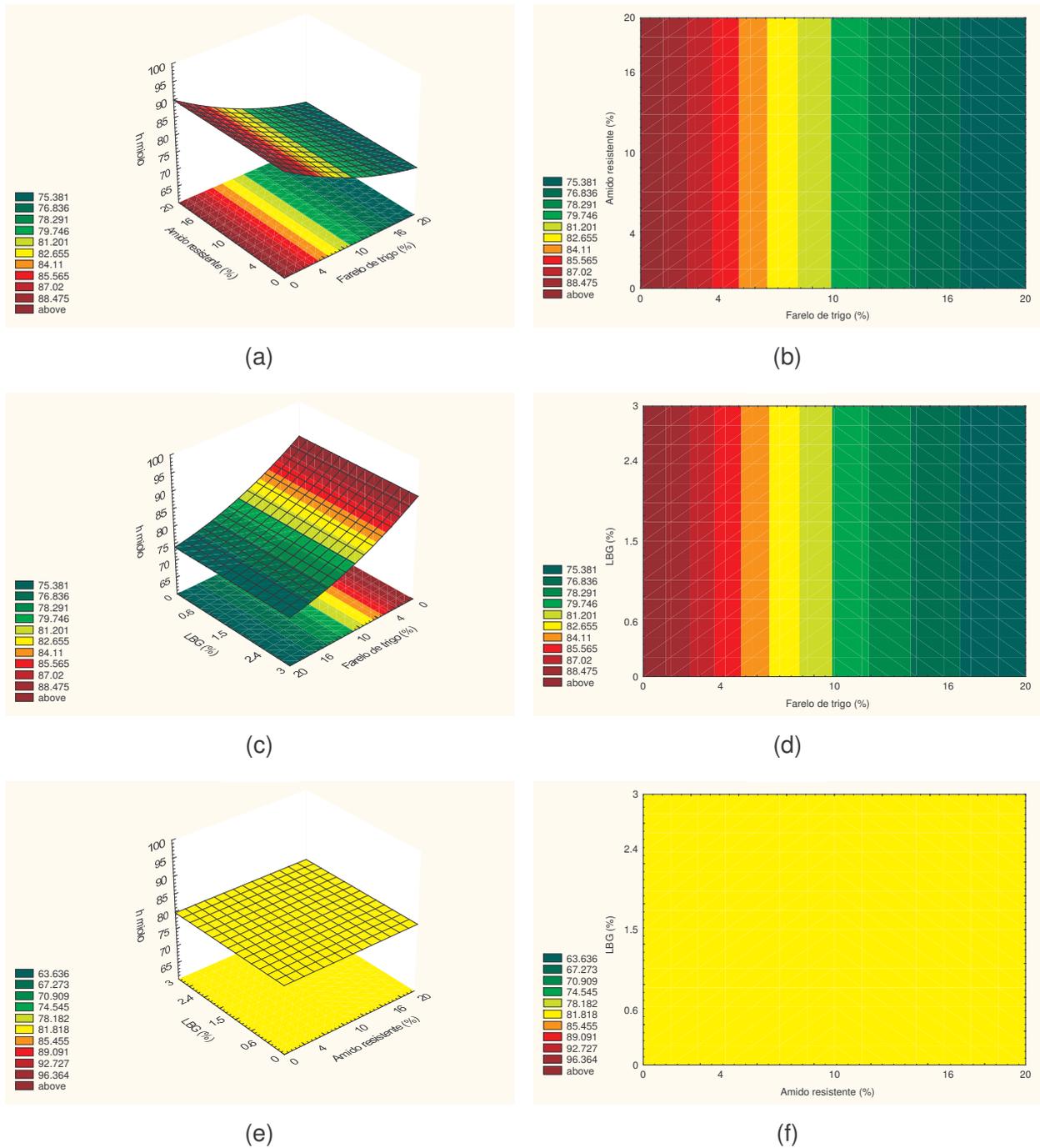
**Figura 40:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais.



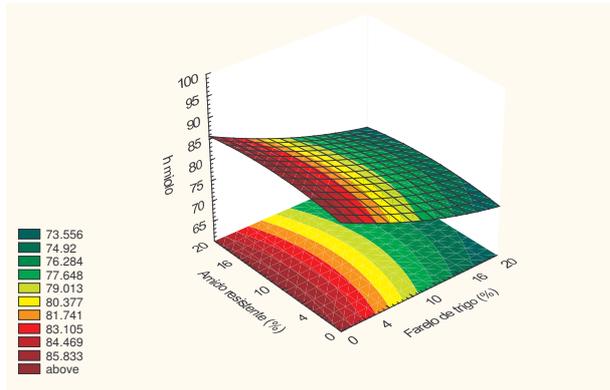
**Figura 41:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.



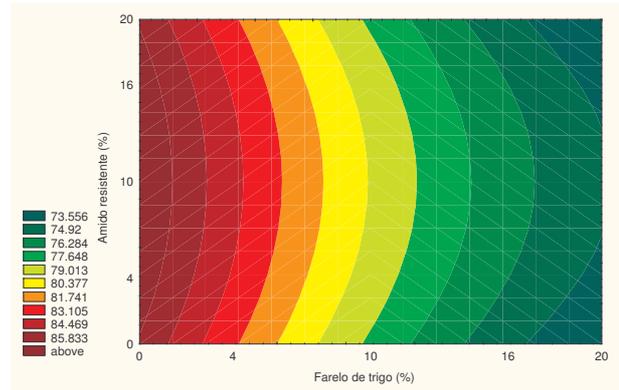
**Figura 42:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.



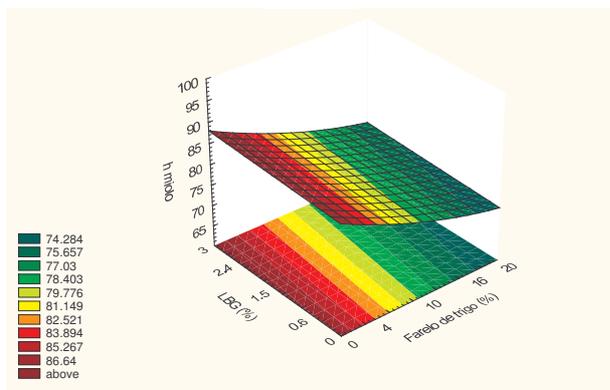
**Figura 43:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



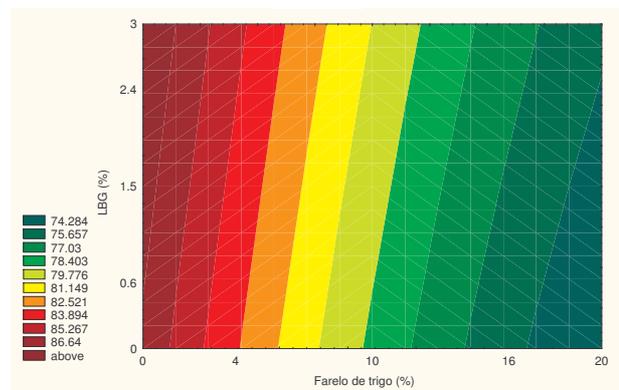
(a)



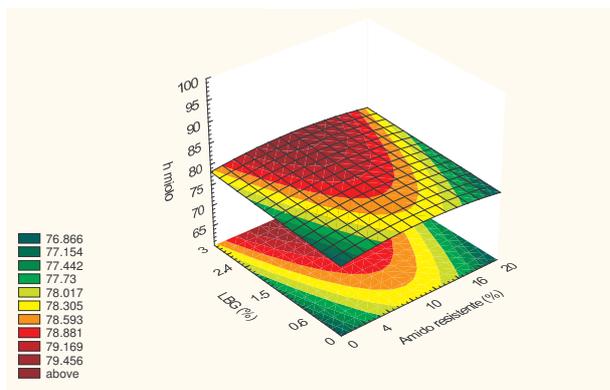
(b)



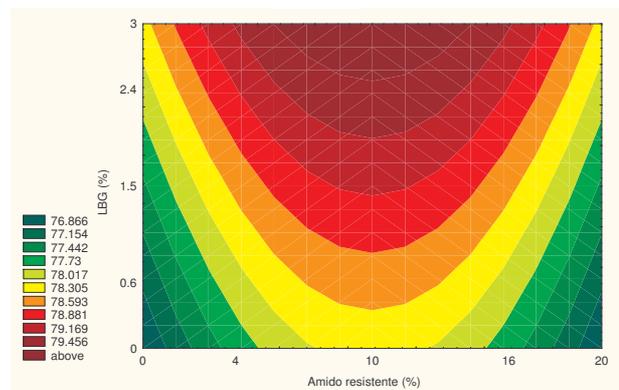
(c)



(d)

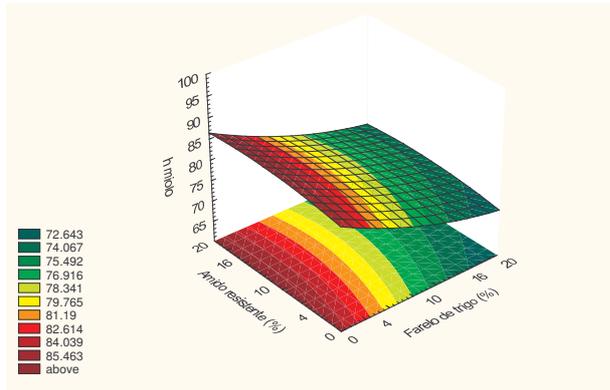


(e)

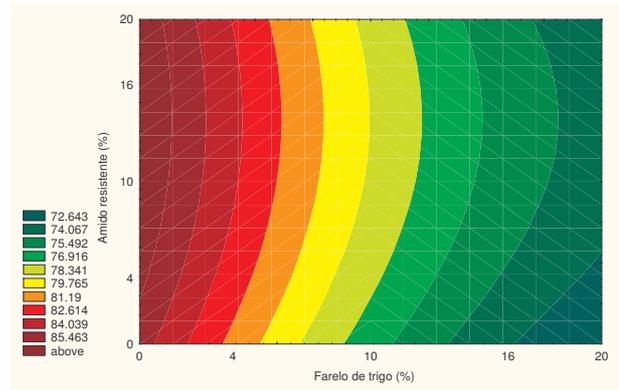


(f)

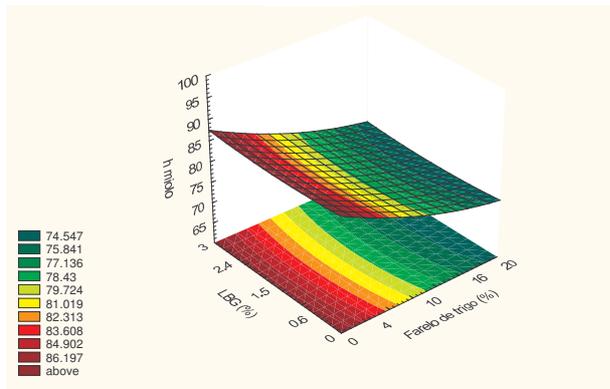
**Figura 44:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



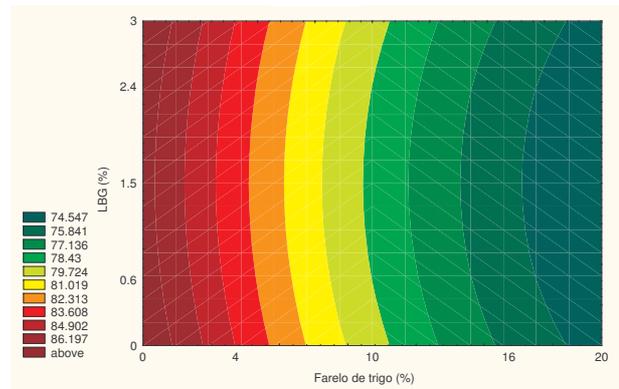
(a)



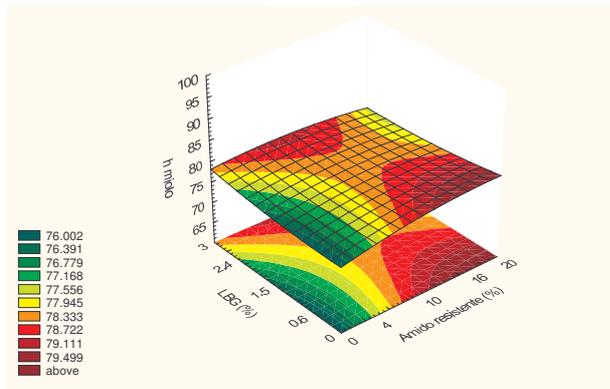
(b)



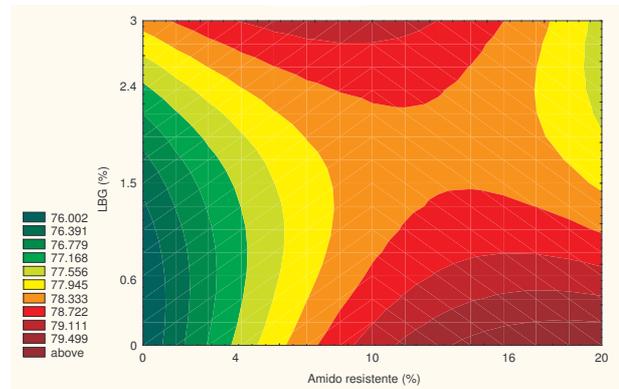
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 45:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o ângulo de tonalidade do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

As superfícies de resposta e curvas de contorno mostram que o farelo de trigo contribui para a diminuição do ângulo de tonalidade do miolo. Quanto maior a adição desta fonte de fibra, mais o miolo tende ao vermelho. Dentro da faixa estudada, miolos com coloração mais avermelhada são obtidos utilizando farelo de trigo acima de 10%. O comportamento das superfícies de resposta e curvas de contorno dos pães pré-assados e reassados (P32 e P62) mostrou-se semelhante, mostrando que o período de estocagem congelada não interferiu muito neste parâmetro. Quando o amido resistente é utilizado em quantidades entre 4 e 16% e a LBG em quantidades acima de 0,6%, o miolo destes pães tende mais ao amarelo (maiores valores de h).

A Tabela 79 apresenta a média dos parâmetros de cor instrumental dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 79:** Média dos parâmetros de cor instrumental dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Parâmetros de cor	PC	P32	P62
L* da crosta	53,92 <sup>b</sup> ± 1,61	60,62 <sup>a</sup> ± 2,48	59,22 <sup>a</sup> ± 3,01
C* da crosta	29,62 <sup>b</sup> ± 0,85	32,19 <sup>a</sup> ± 1,20	31,58 <sup>a</sup> ± 1,67
h da crosta	64,01 <sup>b</sup> ± 0,79	67,06 <sup>a</sup> ± 1,29	66,77 <sup>a</sup> ± 2,27
L* do miolo	67,19 <sup>a</sup> ± 3,82	67,13 <sup>a</sup> ± 3,77	66,62 <sup>a</sup> ± 3,93
C* do miolo	15,66 <sup>c</sup> ± 0,99	16,84 <sup>b</sup> ± 0,72	17,30 <sup>a</sup> ± 0,92
h do miolo	80,26 <sup>a</sup> ± 4,36	79,93 <sup>b</sup> ± 3,77	78,54 <sup>b</sup> ± 3,76

PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados; L\* = luminosidade; C\* = croma; h= ângulo de tonalidade.

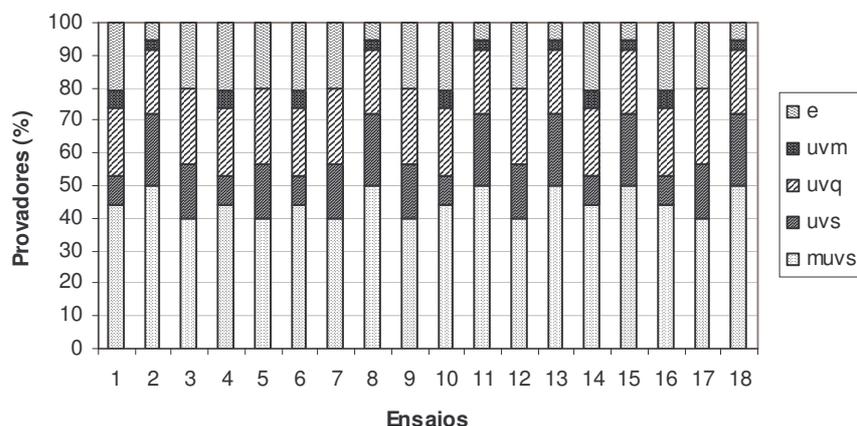
\* média ± desvio padrão, n = 18. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Observando os valores apresentados na Tabela 79, nota-se que excetuando-se o  $C^*$  do miolo, o aumento do período de estocagem dos pães pré-assados de 32 para 62 dias não afetou os parâmetros de cor. No entanto, houve diferença estatisticamente significativa na maioria dos parâmetros de cor entre os pães pré-assados reassados e os pães assados convencionalmente.

### 4.3.3. Análise sensorial

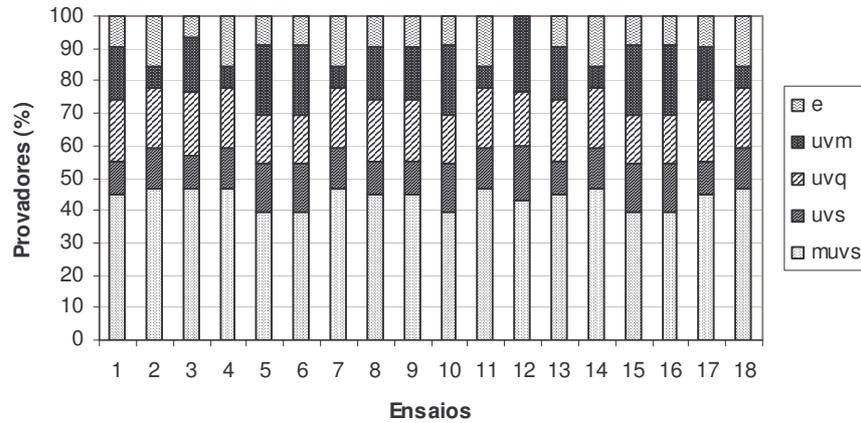
#### 4.3.3.1. Perfil de consumo dos provadores

As Figuras 46, 47 e 48 apresentam o perfil de consumo dos provadores dos PC, P32 e P62. Observa-se que a maior parte dos provadores que avaliaram os pães com fibras possui uma freqüência alta de consumo deste tipo de produto. Acima de 66,7% deles declararam consumir pão com fibras com freqüência de mais de uma vez por semana a uma vez a cada quinze dias.



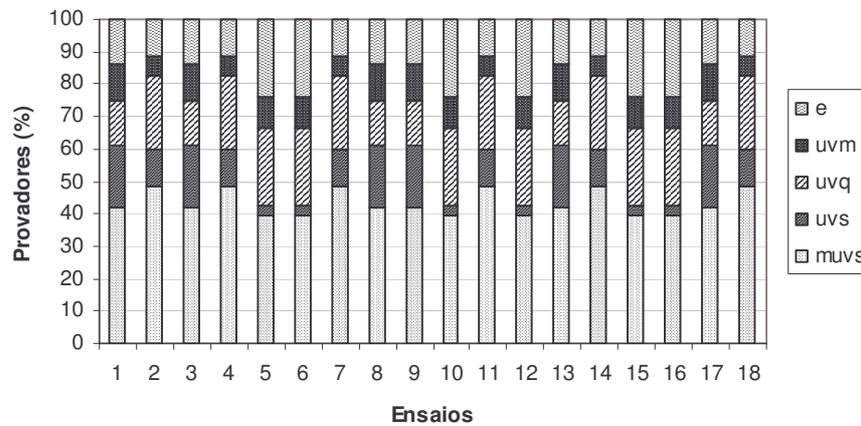
\* freqüência de consumo: muvs = mais de uma vez por semana; uvs = uma vez por semana; uvq = uma vez a cada quinze dias, uvm = uma vez por mês; e = eventualmente.

**Figura 46:** Perfil dos provadores dos pães convencionais de acordo com a freqüência de consumo de pão com fibras.



\* frequência de consumo: muvs = mais de uma vez por semana; uvs = uma vez por semana; uvq = uma vez a cada quinze dias, uvm = uma vez por mês; e = eventualmente.

**Figura 47:** Perfil dos provadores dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados de acordo com a frequência de consumo de pão com fibras.



\* frequência de consumo: muvs = mais de uma vez por semana; uvs = uma vez por semana; uvq = uma vez a cada quinze dias, uvm = uma vez por mês; e = eventualmente.

**Figura 48:** Perfil dos provadores dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados de acordo com a frequência de consumo de pão com fibras.

#### **4.3.3.2. Teste de aceitação**

Os principais fatores de aceitabilidade para avaliação de alimentos são a aparência, o aroma, o sabor e a textura. Se um destes fatores não consegue alcançar as expectativas, o alimento não será consumido, ou, se consumido, irá provocar uma resposta negativa do consumidor (FARIDI; FAUBION, 1990; MOHSENIN, 1986). Pelas Tabelas 80, 84, 91, 95, 102, 106 e 110, pode-se observar que os pães produzidos tiveram uma boa aceitação para estes parâmetros. Os consumidores, em média, não desgostaram de nenhum dos pães em nenhum dos atributos avaliados.

##### **4.3.3.2.1. Aceitação da cor da crosta**

A Tabela 80 apresenta o escore da aceitação da cor da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 80:** Escore da aceitação da cor da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Escore da aceitação da cor da crosta		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	7,0 ± 1,7	7,4 ± 1,3	7,2 ± 1,3
2	+1	-1	-1	7,7 ± 0,9	6,8 ± 1,6	7,4 ± 1,3
3	-1	+1	-1	7,6 ± 1,1	7,0 ± 1,7	6,3 ± 2,2
4	+1	+1	-1	7,3 ± 1,2	6,2 ± 1,4	7,3 ± 1,5
5	-1	-1	+1	7,6 ± 1,3	7,8 ± 1,3	7,1 ± 1,4
6	+1	-1	+1	7,5 ± 1,2	7,3 ± 1,6	7,5 ± 1,0
7	-1	+1	+1	7,5 ± 0,9	6,9 ± 1,3	7,1 ± 1,4
8	+1	+1	+1	7,3 ± 1,1	7,5 ± 1,3	6,3 ± 2,2
9	-1,68	0	0	7,2 ± 1,4	7,0 ± 1,9	6,4 ± 1,9
10	+1,68	0	0	7,2 ± 1,5	7,5 ± 1,6	7,2 ± 1,6
11	0	-1,68	0	7,7 ± 1,0	7,5 ± 1,0	7,7 ± 1,0
12	0	+1,68	0	7,7 ± 0,9	6,8 ± 1,5	6,9 ± 1,5
13	0	0	-1,68	7,8 ± 0,9	6,9 ± 1,6	7,3 ± 1,4
14	0	0	+1,68	7,5 ± 0,9	7,4 ± 1,0	7,2 ± 1,2
15	0	0	0	7,8 ± 0,8	7,5 ± 1,3	6,8 ± 1,3
16	0	0	0	7,6 ± 1,0	7,5 ± 1,2	7,3 ± 1,1
17	0	0	0	7,4 ± 1,3	7,4 ± 1,2	6,8 ± 1,8
18	0	0	0	7,4 ± 1,2	6,9 ± 1,2	7,2 ± 1,1

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 30.

\*\* avaliação por escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente).

Como pode ser observado nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 80), os PC apresentaram escores para a aceitação da cor da crosta entre 7,2 e 7,8, enquanto que os P32 apresentaram valores entre 6,2 e 7,8 e os P62 valores entre 6,3 e 7,7. Observa-se que os intervalos de variação foram muito pequenos. Os consumidores expressaram sua aceitação para a cor

da crosta, em média, como gostei moderadamente para os pães convencionais e como gostei ligeiramente a gostei moderadamente para os pães pré-assados reassados.

Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos PC e P32. As Tabelas 81 e 82 confirmam esta avaliação. Desta forma, não foi possível estabelecer um modelo para a resposta score da aceitação da cor da crosta dos PC e P32 em função das três fontes de fibra alimentar estudadas.

Rao e Rao (1991) observaram que com o aumento da incorporação do farelo de trigo (20 - 40%) houve um decréscimo dos escores da cor da crosta em relação aos escores dos pães sem incorporação de farelo ou com apenas 10% de adição. Basman e Köksel (1999, 2001) também observaram que o aumento dos níveis de adição de farelo de trigo levou a uma progressiva diminuição do score da cor da crosta de pães típicos da Turquia (Bazlama e Yufka).

Para os P62, também não foi possível estabelecer um modelo para o score de aceitação da cor da crosta, apesar do fator linear do amido resistente ter sido significativo a 95% (Tabela 83). Não pôde-se chegar a um modelo que explicasse os dados experimentais, já que o coeficiente de determinação foi muito baixo e os resíduos muito altos.

Isto indica que independentemente das quantidades adicionadas de farelo de trigo, amido resistente e LBG, o score da aceitação da cor da crosta obtido pelos pães (PC, P32 e P62) ficou dentro do intervalo do valor médio e seu erro padrão, ou seja, os provadores, em média, não expressaram diferença de aceitação entre a cor da crosta dos pães dos dezoito ensaios.

**Tabela 81:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor da crosta dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,54	0,10	74,16	<0,0001
FT (L)	<0,01	0,06	0,09	0,9370
FT (Q)	-0,13	0,06	-2,30	0,1049
AR (L)	0,00	0,06	0,08	0,9387
AR (Q)	0,04	0,06	0,77	0,4998
LBG (L)	-0,01	0,06	-0,12	0,9149
LBG (Q)	0,02	0,06	0,31	0,7789
FT x AR	-0,14	0,07	-1,96	0,1449
FT x LBG	-0,09	0,07	-1,23	0,3061
AR x LBG	-0,07	0,07	-1,01	0,3858

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 82:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor da crosta dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,33	0,13	55,29	<0,0001
FT (L)	-0,04	0,07	-0,52	0,6393
FT (Q)	-0,04	0,07	-0,59	0,5945
AR (L)	-0,22	0,07	-3,05	0,0556
AR (Q)	-0,08	0,07	-1,13	0,3402
LBG (L)	0,23	0,07	3,14	0,0516
LBG (Q)	-0,07	0,07	-0,93	0,4189
FT x AR	0,11	0,09	1,14	0,3375
FT x LBG	0,19	0,09	2,01	0,1379
AR x LBG	0,03	0,09	0,29	0,7893

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 83:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor da crosta dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,04	0,13	54,77	<0,0001
FT (L)	0,16	0,07	2,32	0,1033
FT (Q)	-0,09	0,07	-1,24	0,3031
AR (L)*	-0,25	0,07	-3,55	0,0380
AR (Q)	0,08	0,07	1,12	0,3435
LBG (L)	-0,03	0,07	-0,45	0,6804
LBG (Q)	0,05	0,07	0,76	0,5034
FT x AR	-0,05	0,09	-0,56	0,6157
FT x LBG	-0,19	0,09	-2,08	0,1295
AR x LBG	-0,02	0,09	-0,25	0,8161

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

#### 4.3.3.2.2. Aceitação da cor do miolo

A Tabela 84 apresenta o escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 84:** Escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Escore da aceitação da cor do miolo		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	5,9 ± 1,9	6,8 ± 1,6	7,0 ± 1,4
2	+1	-1	-1	7,8 ± 1,0	7,1 ± 1,3	7,6 ± 1,4
3	-1	+1	-1	7,3 ± 1,3	6,9 ± 1,7	6,6 ± 1,8
4	+1	+1	-1	7,6 ± 1,2	7,2 ± 1,2	7,5 ± 1,4
5	-1	-1	+1	7,5 ± 1,0	6,6 ± 1,8	6,6 ± 1,7
6	+1	-1	+1	7,4 ± 1,4	7,3 ± 1,6	7,4 ± 1,2
7	-1	+1	+1	7,5 ± 0,8	6,6 ± 1,5	6,7 ± 1,8
8	+1	+1	+1	7,5 ± 1,1	7,4 ± 1,6	7,1 ± 1,6
9	-1,68	0	0	6,5 ± 2,0	6,3 ± 2,1	5,6 ± 2,4
10	+1,68	0	0	7,0 ± 2,0	7,3 ± 1,8	6,9 ± 2,0
11	0	-1,68	0	7,4 ± 0,8	7,3 ± 1,3	7,4 ± 1,1
12	0	+1,68	0	7,9 ± 0,9	7,4 ± 1,3	6,9 ± 1,4
13	0	0	-1,68	7,5 ± 1,2	6,9 ± 1,6	7,5 ± 1,1
14	0	0	+1,68	7,4 ± 1,1	7,2 ± 1,2	6,9 ± 1,2
15	0	0	0	7,4 ± 1,0	7,2 ± 1,5	7,2 ± 1,2
16	0	0	0	7,4 ± 1,1	7,3 ± 1,4	7,4 ± 1,1
17	0	0	0	7,6 ± 1,0	7,2 ± 1,5	7,4 ± 1,1
18	0	0	0	7,6 ± 1,2	7,3 ± 1,0	7,3 ± 0,9

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 30.

\*\* avaliação por escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente).

Fazendo uma análise dos escores de aceitação da cor do miolo apresentados na Tabela 84, verifica-se que esta resposta apresentou valores mínimo e máximo de 5,9 e 7,9 para os PC, 6,3 e 7,4 para os P32 e de 6,6 e 7,6 para os P62, respectivamente.

Observa-se pelas Tabelas 85, 86 e 87 que as fontes de fibra alimentar tiveram influência na aceitação da cor do miolo. No entanto, percebe-se que o amido resistente não apresentou interferência nesta resposta dos P32. Os fatores linear e quadrático do farelo de trigo foram estatisticamente significativos na aceitação da cor do miolo de todos os pães possuindo efeitos positivo e negativo, respectivamente. Nota-se que os fatores quadrático e linear da LBG tiveram efeito negativo no escore da cor do miolo dos P32 e P62, respectivamente.

**Tabela 85:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,48	0,07	112,07	<0,0001
FT (L)*	0,20	0,04	5,60	0,0113
FT (Q)*	-0,25	0,04	-6,72	0,0067
AR (L)*	0,15	0,04	4,20	0,0246
AR (Q)	0,08	0,04	2,10	0,1271
LBG (L)	0,09	0,04	2,55	0,0843
LBG (Q)	0,00	0,04	-0,09	0,9353
FT x AR*	-0,18	0,05	-3,85	0,0310
FT x LBG*	-0,29	0,05	-6,17	0,0086
AR x LBG	-0,14	0,05	-2,87	0,0639

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 86:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,26	0,03	245,64	<0,0001
FT (L)*	0,28	0,02	17,37	0,0004
FT (Q)*	-0,18	0,02	-11,04	0,0016
AR (L)	0,04	0,02	2,22	0,1132
AR (Q)	0,01	0,02	0,46	0,6782
LBG (L)	0,03	0,02	1,67	0,1939
LBG (Q)*	-0,08	0,02	-5,08	0,0147
FT x AR	0,03	0,02	1,50	0,2315
FT x LBG*	0,11	0,02	5,30	0,0131
AR x LBG	-0,02	0,02	-0,88	0,4447

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 87:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da cor do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,32	0,04	173,14	<0,0001
FT (L)*	0,35	0,02	15,34	0,0006
FT (Q)*	-0,33	0,02	-14,05	0,0008
AR (L)*	-0,11	0,02	-4,80	0,0172
AR (Q)	-0,02	0,02	-0,75	0,5062
LBG (L)*	-0,15	0,02	-6,75	0,0066
LBG (Q)	<0,01	0,02	-0,19	0,8613
FT x AR	-0,01	0,03	-0,24	0,8275
FT x LBG	-0,04	0,03	-1,44	0,2460
AR x LBG	0,01	0,03	0,43	0,6980

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

As ANOVAs (Tabelas 88, 89 e 90) correspondentes aos modelos do escore da aceitação da cor do miolo dos PC, P32 e P62 apresentam uma variação explicada superior a 74,00% e no teste F, os valores calculados foram maiores que os valores tabelados, a 95% de confiança.

**Tabela 88:** ANOVA para a resposta escore da cor do miolo dos pães convencionais.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	2,78	5	0,56	7,11
resíduos	0,94	12	0,08	
falta de ajuste	0,89	9	0,10	
erro puro	0,05	3	0,02	
total	3,72	17		

$$\% \text{ variação explicada } (r^2) = 0,7477; F_{5; 12; 0,05} = 3,11$$

**Tabela 89:** ANOVA para a resposta escore da cor do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	1,65	4	0,41	72,94
resíduos	0,07	13	0,01	
falta de ajuste	0,06	10	0,01	
erro puro	0,01	3	0,00	
total	1,73	17		

$$\% \text{ variação explicada } (r^2) = 0,9573; F_{4; 13; 0,05} = 3,18$$

**Tabela 90:** ANOVA para a resposta escore da cor do miolo dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	3,67	4	0,92	42,06
resíduos	0,28	13	0,02	
falta de ajuste	0,26	10	0,03	
erro puro	0,02	3	0,01	
total	3,96	17		

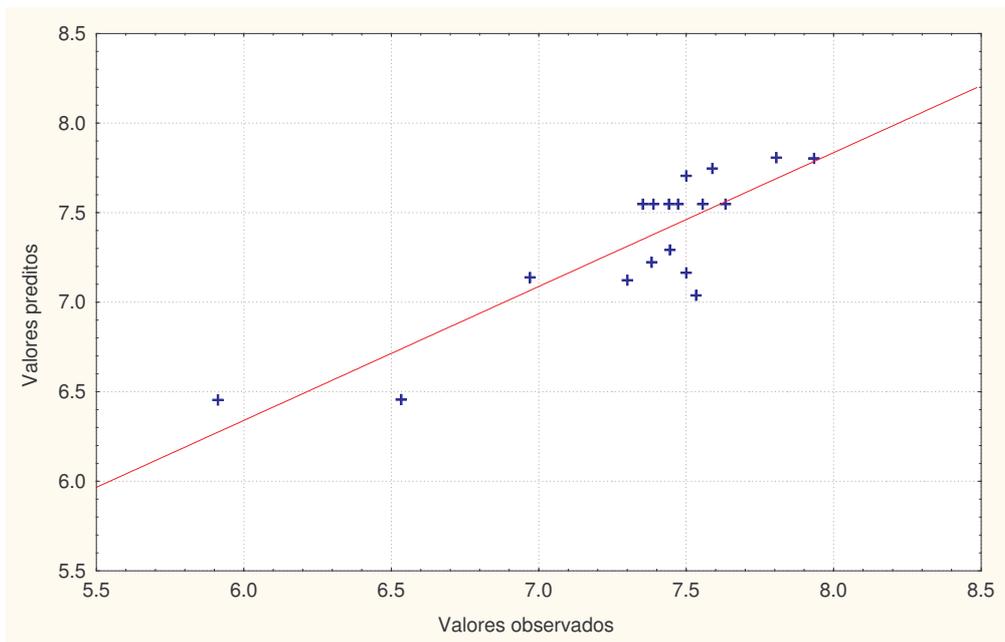
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,9283;  $F_{4; 13; 0,05} = 3,18$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs, pôde-se obter os modelos com as variáveis codificadas que descrevem o comportamento do escore da aceitação da cor do miolo dos pães expressos nas Equações 27, 28 e 29. No Anexo FI estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. As Figuras 49, 50 e 51 mostram que os modelos são adequados para a avaliação da tendência desta resposta. Assim, é possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno dos escores da aceitação da cor do miolo dos pães, apresentadas nas Figuras 52, 53 e 54.

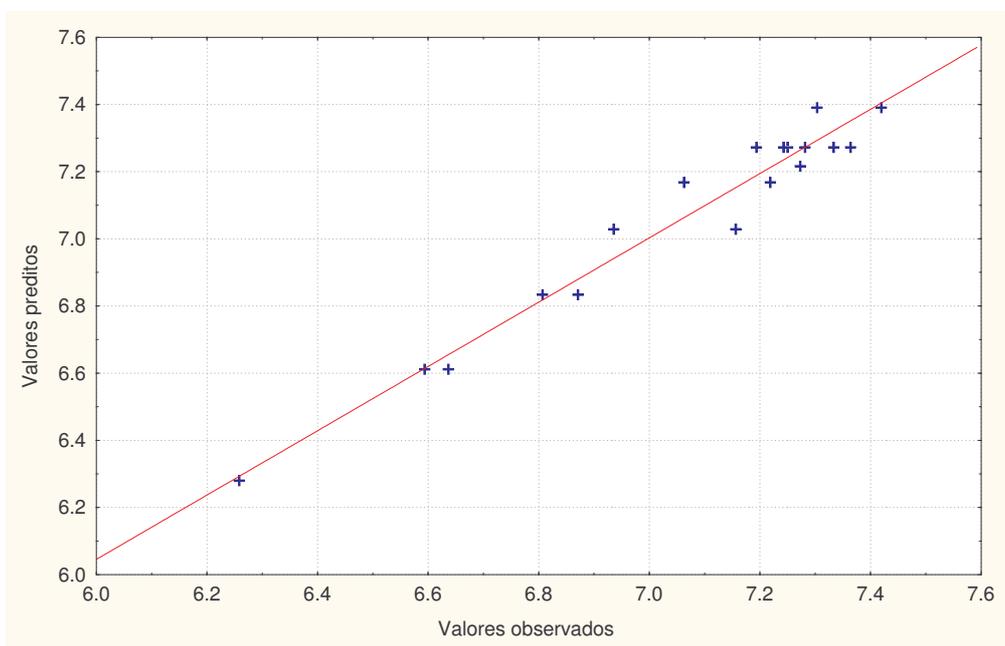
$$\begin{aligned} \text{Escore da aceitação da} \\ \text{cor do miolo dos PC} = & 7,55 + 0,20 \text{ FT} - 0,27 \text{ FT}^2 + 0,15 \text{ AR} - \\ & 0,18 \text{ FT AR} - 0,29 \text{ FT LBG} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \text{Escore da aceitação da} \\ \text{cor do miolo dos P32} = & 7,27 + 0,28 \text{ FT} - 0,19 \text{ FT}^2 - 0,09 \text{ LBG}^2 + \\ & 0,11 \text{ FT LBG} \end{aligned} \quad (28)$$

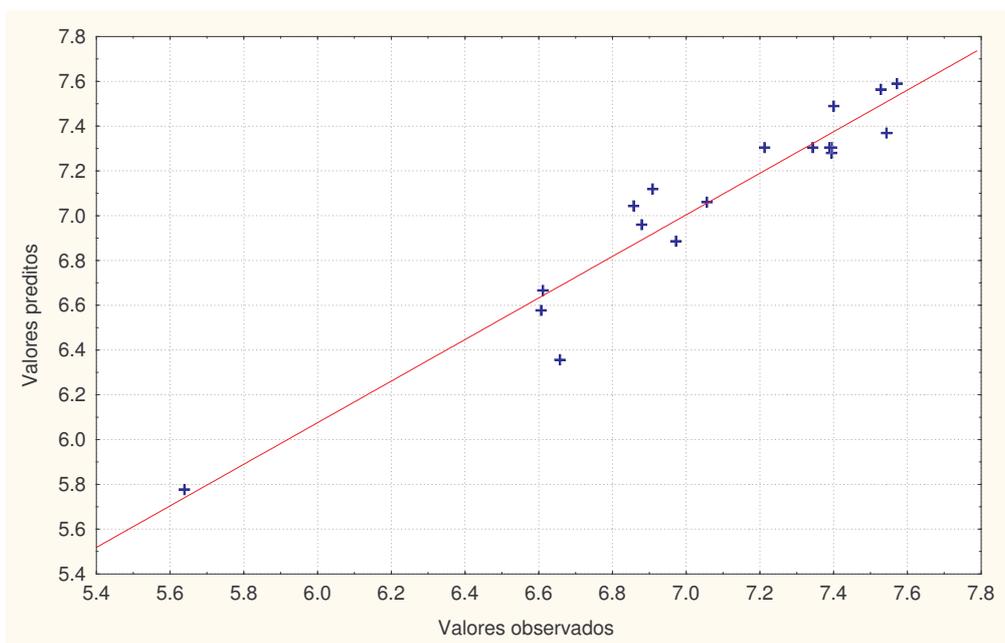
$$\begin{aligned} \text{Escore da aceitação da} \\ \text{cor do miolo dos P62} = & 7,30 + 0,35 \text{ FT} - 0,33 \text{ FT}^2 - 0,11 \text{ AR} - 0,15 \text{ LBG} \end{aligned} \quad (29)$$



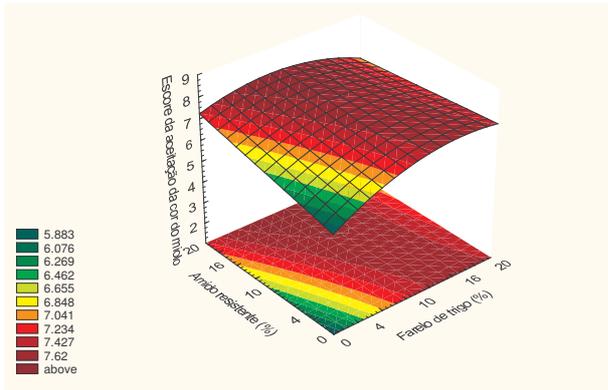
**Figura 49:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais.



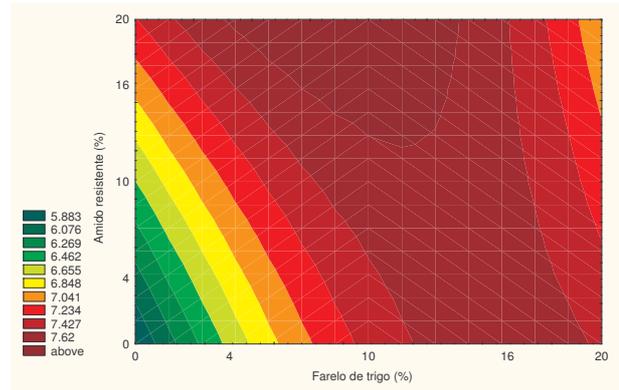
**Figura 50:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da cor do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.



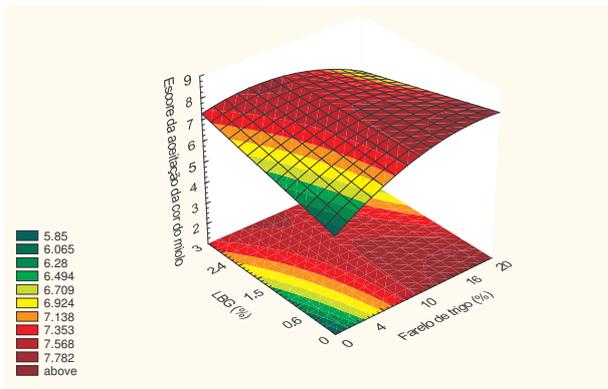
**Figura 51:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da cor do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.



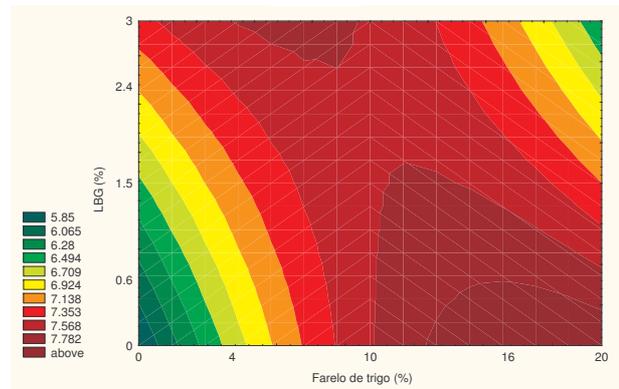
(a)



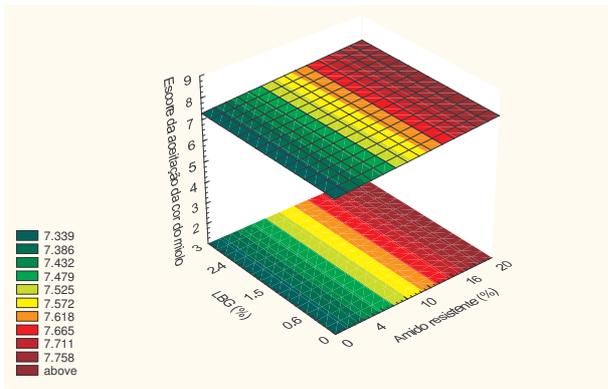
(b)



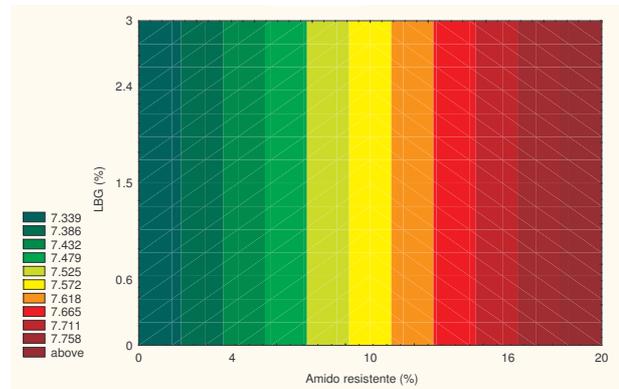
(c)



(d)

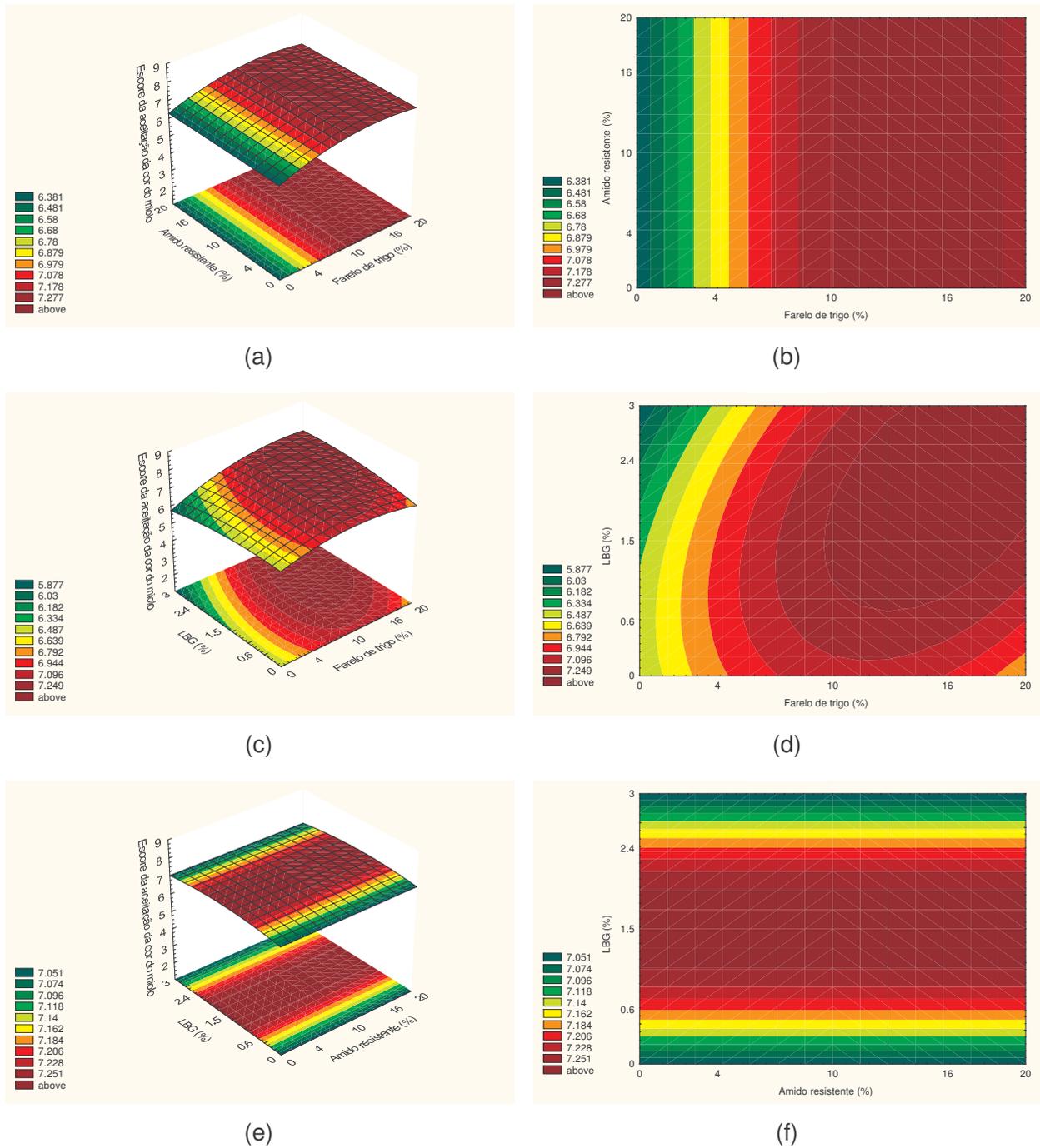


(e)

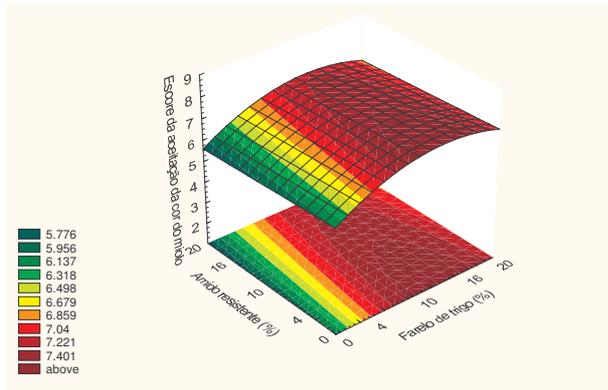


(f)

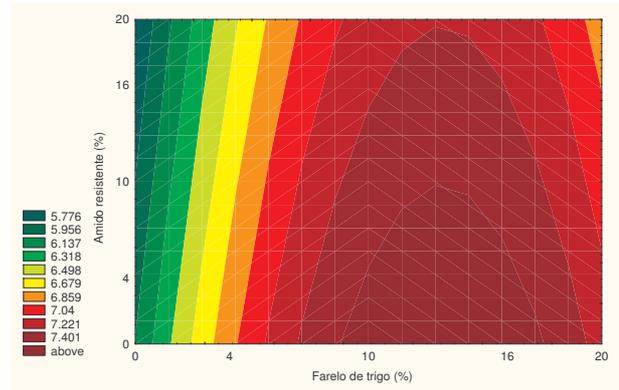
**Figura 52:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da cor do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



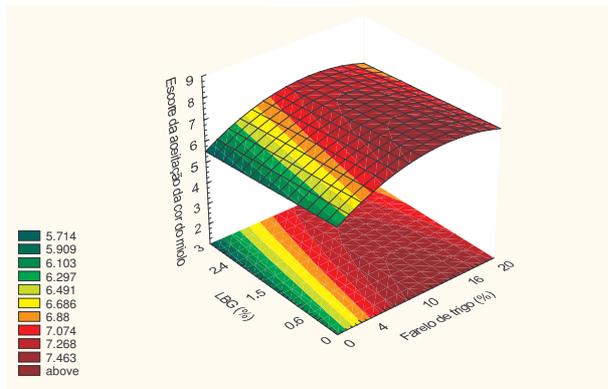
**Figura 53:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da cor do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



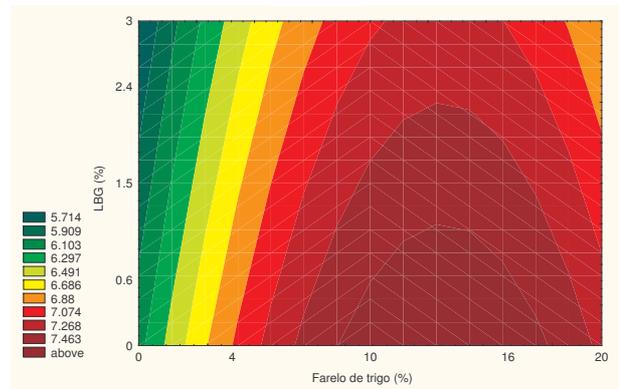
(a)



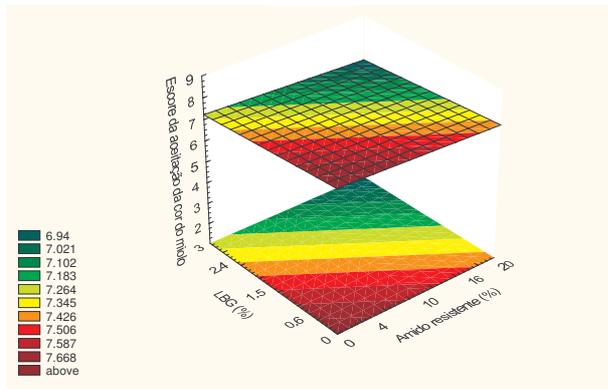
(b)



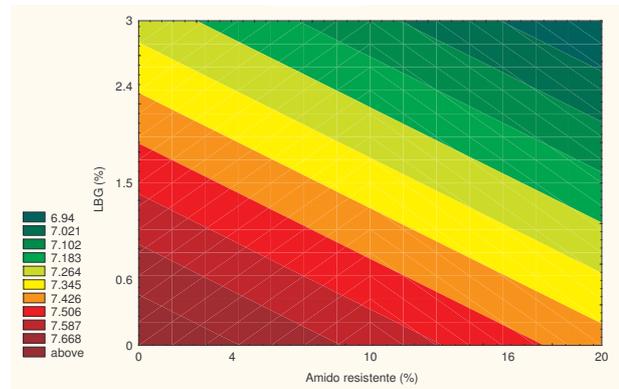
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 54:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da cor do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Analisando as superfícies de reposta e curvas de contorno geradas pelo modelo dos PC e dos P62 observa-se que houve um aumento do escore da aceitação da cor do miolo com o aumento da adição de farelo de trigo e, as demais fontes de fibra alimentar pouco influenciaram na aceitação deste atributo. No entanto, trabalhos encontrados na literatura mostram resultados opostos a este. A diferença deste resultado pode estar relacionada com o fato dos provadores que avaliaram as amostras serem consumidores freqüentes de pães com fibras.

Basman e Köksel (1999, 2001) observaram que o aumento dos níveis de adição de farelo de trigo levou a uma progressiva diminuição do escore da cor do miolo de pães típicos da Turquia (Bazlama e Yufka). Rao e Rao (1991) também observaram que, com o aumento da incorporação do farelo de trigo (20 - 40%) houve um decréscimo dos escores da cor do miolo em relação aos escores dos pães sem incorporação de farelo ou com apenas 10% de adição. Shenoy e Prakash (2002) verificaram que o escore da cor de pães não fermentados (Phulkas e Chapathis), com adição de 10 e 15% de farelo de trigo, foi menor do que o do pão controle (sem adição de farelo). Para Phulkas, a incorporação de 5% não causou diferença deste escore em relação ao pão controle, no entanto, para Chapathis, este nível de incorporação já causou diferença.

Eerlingen *et al.* (1994) não detectaram diferença sensorial entre a cor do miolo de pães formulados com 20% (base farinha) de amido de milho de alto teor de amilose (75%) com a de pães sem adição.

Para os P32, pôde-se visualizar a não interferência da adição das diferentes concentrações de amido resistente e, além disso, podemos identificar uma região de ótima aceitação da cor do miolo onde se encontra uma faixa de combinações de farelo de trigo (acima de 10%) e LBG (acima de 0,6%).

Comparando estes resultados de aceitação da cor do miolo com os resultados da análise da cor instrumental do miolo, observa-se que os provadores expressaram melhor aceitação para o miolo com cor de menor luminosidade, ou seja, mais escuro ( $L^* < 68$ , aproximadamente), maior saturação ( $C^* > 15$ ,

aproximadamente) e com menores ângulos de tonalidade ou seja, tendendo mais ao vermelho ( $h < 81^\circ$ , aproximadamente).

#### **4.3.3.2.3. Aceitação da aparência da crosta**

A Tabela 91 apresenta o escore da aceitação da aparência da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 91:** Escore da aceitação da aparência da crosta dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Escore da aceitação da aparência da crosta		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	6,7 ± 1,7	7,1 ± 1,4	7,1 ± 1,5
2	+1	-1	-1	7,3 ± 0,9	6,5 ± 1,7	7,4 ± 1,1
3	-1	+1	-1	7,5 ± 1,1	6,9 ± 1,6	5,9 ± 1,9
4	+1	+1	-1	7,2 ± 1,3	6,3 ± 1,9	7,0 ± 1,6
5	-1	-1	+1	7,5 ± 1,2	7,3 ± 1,6	6,5 ± 1,6
6	+1	-1	+1	7,3 ± 1,5	6,9 ± 1,6	7,1 ± 1,5
7	-1	+1	+1	7,4 ± 1,1	6,4 ± 1,6	6,7 ± 1,5
8	+1	+1	+1	6,8 ± 0,9	6,9 ± 1,7	6,4 ± 2,1
9	-1,68	0	0	7,2 ± 1,4	6,9 ± 2,1	5,9 ± 2,0
10	+1,68	0	0	7,1 ± 1,7	6,9 ± 1,6	6,8 ± 1,7
11	0	-1,68	0	7,1 ± 1,4	7,2 ± 1,2	7,3 ± 1,3
12	0	+1,68	0	7,6 ± 1,3	6,6 ± 1,7	6,6 ± 1,7
13	0	0	-1,68	7,2 ± 1,3	6,8 ± 1,6	6,8 ± 1,8
14	0	0	+1,68	7,4 ± 1,1	7,0 ± 1,4	6,7 ± 1,3
15	0	0	0	7,2 ± 1,3	6,7 ± 1,8	6,1 ± 1,7
16	0	0	0	7,5 ± 1,0	6,6 ± 1,7	6,8 ± 1,7
17	0	0	0	7,1 ± 1,5	7,0 ± 1,4	6,2 ± 2,0
18	0	0	0	7,0 ± 1,4	6,6 ± 1,3	7,0 ± 1,4

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 30.

\*\* avaliação por escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente).

Através dos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 91), pode-se observar que a resposta escore da aceitação da aparência da crosta variou entre 6,7 e 7,6 para os PC, 6,3 e 7,3 para os P32 e 5,9 e 7,3 para os P62. Observa-se que estes intervalos de variação foram muito pequenos. Os consumidores expressaram sua aceitação para a aparência da crosta, em média,

como gostei ligeiramente a gostei moderadamente para os PC e P32 e como indiferente a gostei moderadamente para os P62.

Não foi possível estabelecer um modelo para esta resposta em função das três fontes de fibra alimentar estudadas para os PC e para os pães pré-assados. Para os PC e os P62 observa-se que nenhum fator linear, quadrático ou de interação entre as variáveis teve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 92 e 94). A Tabela 93 mostra que somente o fator linear do amido resistente teve efeito significativo para os P32. No entanto, não pôde-se chegar a um modelo que explicasse os dados experimentais destes pães, já que o coeficiente de determinação foi muito baixo e os resíduos muito altos. Isto indica que independentemente das quantidades adicionadas de farelo de trigo, amido resistente e LBG, o escore da aceitação da aparência da crosta obtido pelos pães ficou dentro do intervalo do valor médio e seu erro padrão, ou seja, os provadores, em média, não expressaram diferença de aceitação entre a aparência da crosta dos pães dos dezoito ensaios.

**Tabela 92:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência da crosta dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,22	0,11	65,32	<0,0001
FT (L)	-0,06	0,06	-1,01	0,3871
FT (Q)	-0,04	0,06	-0,69	0,5403
AR (L)	0,06	0,06	0,97	0,4016
AR (Q)	0,04	0,06	0,67	0,5485
LBG (L)	0,04	0,06	0,70	0,5324
LBG (Q)	0,01	0,06	0,15	0,8931
FT x AR	-0,16	0,08	-2,00	0,1396
FT x LBG	-0,15	0,08	-1,92	0,1511
AR x LBG	-0,17	0,08	-2,18	0,1172

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 93:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência da crosta dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,72	0,09	77,00	<0,0001
FT (L)	-0,08	0,05	-1,71	0,1855
FT (Q)	0,05	0,05	0,94	0,4147
AR (L)*	-0,18	0,05	-3,74	0,0334
AR (Q)	0,03	0,05	0,66	0,5589
LBG (L)	0,08	0,05	1,75	0,1791
LBG (Q)	0,03	0,05	0,69	0,5371
FT x AR	0,12	0,06	1,88	0,1565
FT x LBG	0,18	0,06	2,93	0,0610
AR x LBG	-0,06	0,06	-0,98	0,3978

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 94:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência da crosta dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,50	0,22	29,52	0,0001
FT (L)	0,22	0,12	1,81	0,1681
FT (Q)	-0,04	0,12	-0,36	0,7429
AR (L)	-0,25	0,12	-2,07	0,1308
AR (Q)	0,18	0,12	1,46	0,2411
LBG (L)	-0,08	0,12	-0,64	0,5679
LBG (Q)	0,10	0,12	0,80	0,4803
FT x AR	-0,01	0,16	-0,06	0,9565
FT x LBG	-0,14	0,16	-0,88	0,4437
AR x LBG	0,13	0,16	0,85	0,4564

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

#### 4.3.3.2.4. Aceitação da aparência do miolo

A Tabela 95 apresenta o escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 95:** Escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Escore da aceitação da aparência do miolo		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	6,3 ± 2,1	6,6 ± 1,7	6,4 ± 1,6
2	+1	-1	-1	7,5 ± 0,9	6,7 ± 1,4	7,5 ± 1,3
3	-1	+1	-1	7,4 ± 1,0	7,0 ± 1,5	6,7 ± 1,6
4	+1	+1	-1	7,4 ± 1,3	6,8 ± 1,6	7,7 ± 1,4
5	-1	-1	+1	7,3 ± 1,2	6,9 ± 1,8	6,5 ± 1,5
6	+1	-1	+1	7,3 ± 1,4	7,3 ± 1,5	7,0 ± 1,6
7	-1	+1	+1	7,1 ± 1,2	6,5 ± 1,4	6,3 ± 1,8
8	+1	+1	+1	7,1 ± 1,3	7,2 ± 1,5	6,7 ± 2,0
9	-1,68	0	0	6,6 ± 1,8	6,5 ± 2,2	5,4 ± 2,4
10	+1,68	0	0	7,0 ± 1,8	7,4 ± 1,5	6,9 ± 1,7
11	0	-1,68	0	7,4 ± 1,0	7,0 ± 1,6	6,3 ± 1,9
12	0	+1,68	0	7,8 ± 1,2	7,5 ± 1,3	7,2 ± 1,6
13	0	0	-1,68	7,4 ± 1,0	6,9 ± 1,6	7,0 ± 1,7
14	0	0	+1,68	7,4 ± 1,3	7,0 ± 1,3	6,2 ± 1,8
15	0	0	0	7,5 ± 1,1	7,0 ± 1,6	6,8 ± 1,5
16	0	0	0	7,3 ± 1,1	7,2 ± 1,5	6,9 ± 1,5
17	0	0	0	7,7 ± 1,1	7,1 ± 1,3	7,3 ± 1,4
18	0	0	0	7,2 ± 1,4	7,0 ± 1,3	6,9 ± 1,8

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 30.

\*\* avaliação por escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente).

Fazendo uma análise dos escores da aceitação da aparência do miolo apresentados na Tabela 95, verifica-se que esta resposta apresentou valores mínimo e máximo de 6,3 e 7,8 para os PC, 6,5 e 7,5 para os P32 e de 5,4 e 7,7 para os P62, respectivamente. Logo, observa-se que os consumidores avaliaram a aparência do miolo com aceitabilidade expressa, em média, como gostei

ligeiramente a gostei moderadamente para os PC e P32 e como indiferente a gostei moderadamente para os P62.

Observa-se, pelas Tabelas 96, 97 e 98, que as fontes de fibra alimentar tiveram influência na aceitação da aparência do miolo. No entanto, observa-se que o amido resistente não apresentou interferência nesta resposta dos P62. Os fatores linear e quadrático do farelo de trigo foram estatisticamente significativos na aceitação da aparência do miolo de todos os pães.

**Tabela 96:** Coeficientes de regressão para a resposta score da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (8)	p - valor
Média*	7,43	0,12	64,43	<0,0001
FT (L)*	0,14	0,06	2,24	0,0552
FT (Q)*	-0,23	0,06	-3,51	0,0080
AR (L)	0,10	0,06	1,58	0,1530
AR (Q)	0,05	0,06	0,74	0,4794
LBG (L)	0,02	0,06	0,32	0,7588
LBG (Q)	-0,03	0,06	-0,49	0,6397
FT x AR*	-0,15	0,08	-1,84	0,1024
FT x LBG*	-0,14	0,08	-1,72	0,1241
AR x LBG*	-0,19	0,08	-2,30	0,0504

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 85% de confiança ( $p < 0,15$ ).

**Tabela 97:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,05	0,05	139,96	<0,0001
FT (L)*	0,18	0,03	6,61	0,0071
FT (Q)*	-0,07	0,03	-2,47	0,0897
AR (L)*	0,06	0,03	2,09	0,1281
AR (Q)	0,03	0,03	1,12	0,3452
LBG (L)*	0,07	0,03	2,67	0,0757
LBG (Q)*	-0,07	0,03	-2,30	0,1046
FT x AR	0,00	0,04	0,02	0,9862
FT x LBG*	0,15	0,04	4,10	0,0262
AR x LBG*	-0,11	0,04	-3,06	0,0551

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 85% de confiança ( $p < 0,15$ ).

**Tabela 98:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,95	0,12	58,24	<0,0001
FT (L)*	0,40	0,06	6,25	0,0083
FT (Q)*	-0,21	0,07	-3,08	0,0540
AR (L)	0,11	0,06	1,71	0,1866
AR (Q)	-0,01	0,07	-0,08	0,9414
LBG (L)*	-0,22	0,06	-3,42	0,0419
LBG (Q)	-0,04	0,07	-0,64	0,5703
FT x AR	-0,02	0,08	-0,23	0,8353
FT x LBG	-0,15	0,08	-1,81	0,1684
AR x LBG	-0,13	0,08	-1,58	0,2118

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 90% de confiança ( $p < 0,10$ ).

As ANOVAs (Tabelas 99, 100 e 101) correspondentes aos modelos do escore da aceitação da aparência do miolo dos PC, P32 e P62 apresentam uma variação explicada superior a 70,46% e no teste F, os valores calculados foram maiores que os valores tabelados.

**Tabela 99:** ANOVA para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	1,61	5	0,32	6,27
resíduos	0,62	12	0,05	
falta de ajuste	0,47	9	0,05	
erro puro	0,15	3	0,05	
Total	2,23	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7233;  $F_{5; 12; 0,15} = 2,01$

**Tabela 100:** ANOVA para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	0,95	7	0,14	3,41
resíduos	0,40	10	0,04	
falta de ajuste	0,37	7	0,05	
erro puro	0,03	3	0,01	
Total	1,35	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7046;  $F_{7; 10; 0,15} = 2,03$

**Tabela 101:** ANOVA para a resposta escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	3,44	3	1,15	11,94
resíduos	1,34	14	0,10	
falta de ajuste	1,17	11	0,11	
erro puro	0,17	3	0,06	
Total	4,78	17		

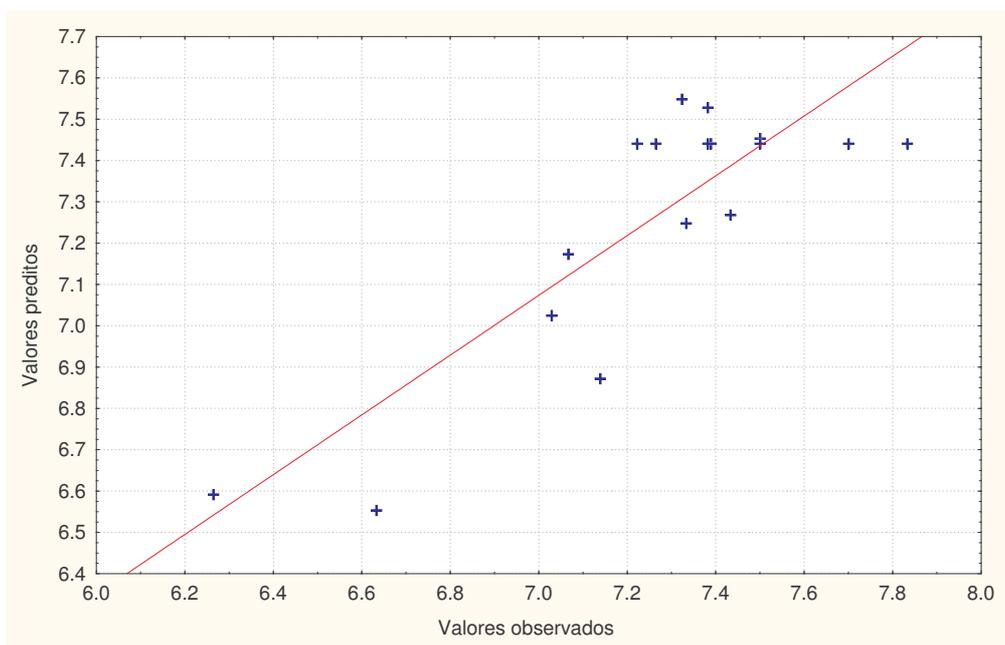
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7190;  $F_{3; 14; 0,10} = 2,52$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs, pôde-se obter os modelos com as variáveis codificadas que descrevem o comportamento do escore da aceitação da aparência do miolo dos pães expressos nas Equações 30, 31 e 32. No Anexo FJ estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. As Figuras 55, 56 e 57 mostram que os modelos são adequados para a avaliação da tendência desta resposta. Assim, é possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno dos escores da aceitação da aparência do miolo dos pães, apresentadas nas Figuras 58, 59 e 60.

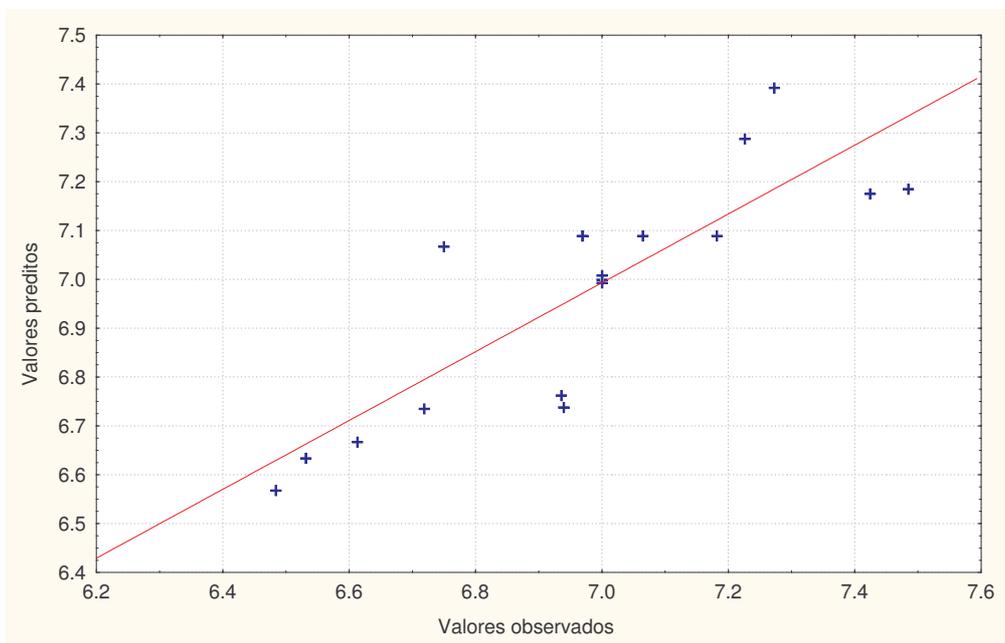
$$\begin{aligned} \text{Escore da aceitação da} \\ \text{aparência do miolo dos PC} = & 7,44 + 0,14 \text{ FT} - 0,23 \text{ FT}^2 - 0,15 \text{ FT AR} - \\ & 0,14 \text{ FT LBG} - 0,19 \text{ AR LBG} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \text{Escore da aceitação da} \\ \text{aparência do miolo dos P32} = & 7,09 + 0,18 \text{ FT} - 0,08 \text{ FT}^2 + 0,06 \text{ AR} + \\ & 0,07 \text{ LBG} - 0,07 \text{ LBG}^2 + 0,15 \text{ FT LBG} - \\ & 0,11 \text{ AR LBG} \end{aligned} \quad (31)$$

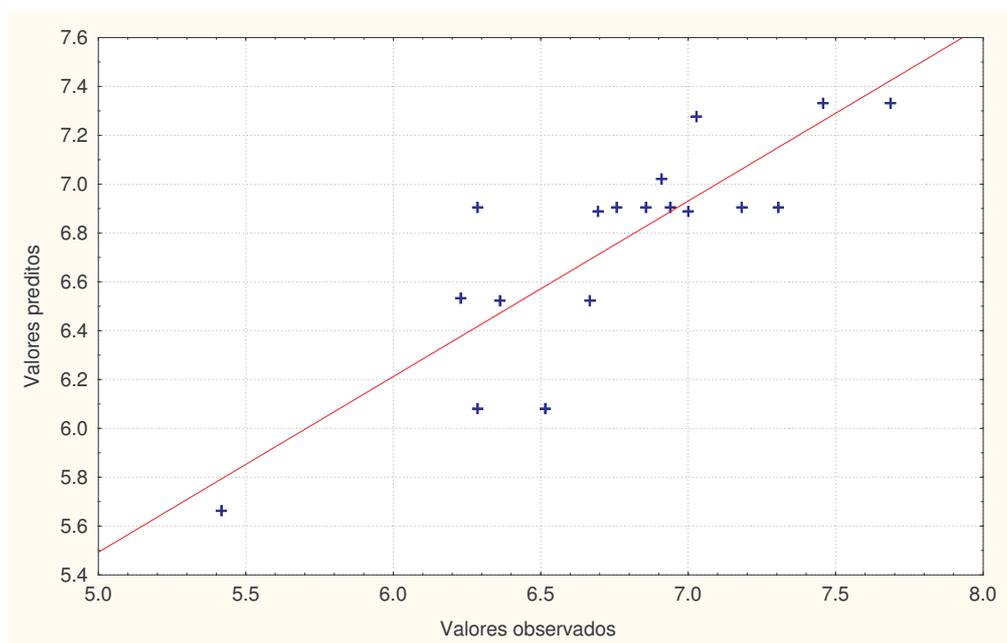
$$\begin{aligned} \text{Escore da aceitação da} \\ \text{aparência do miolo dos P62} = & 6,91 + 0,40 \text{ FT} - 0,20 \text{ FT}^2 - 0,22 \text{ LBG} \end{aligned} \quad (32)$$



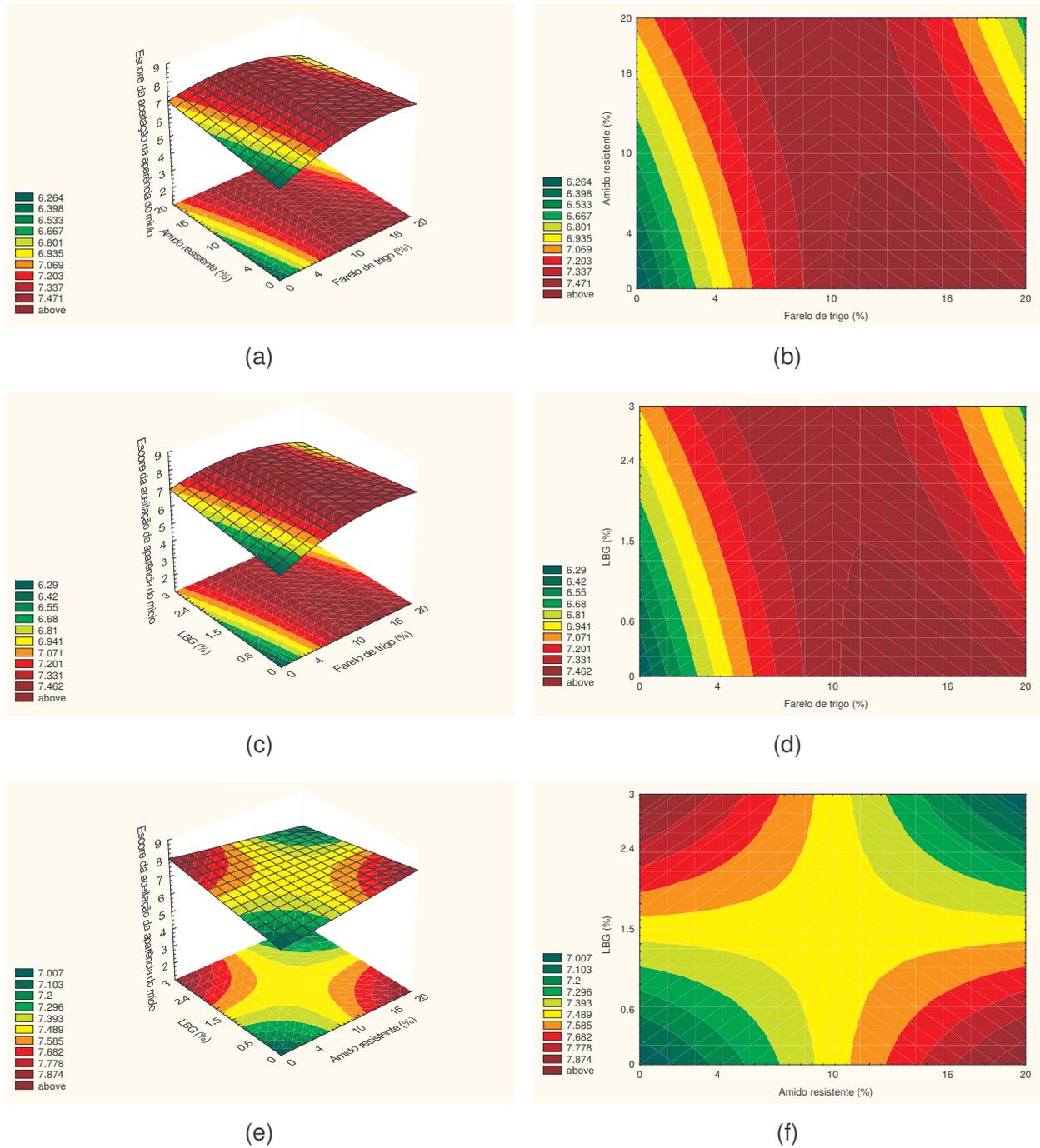
**Figura 55:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais.



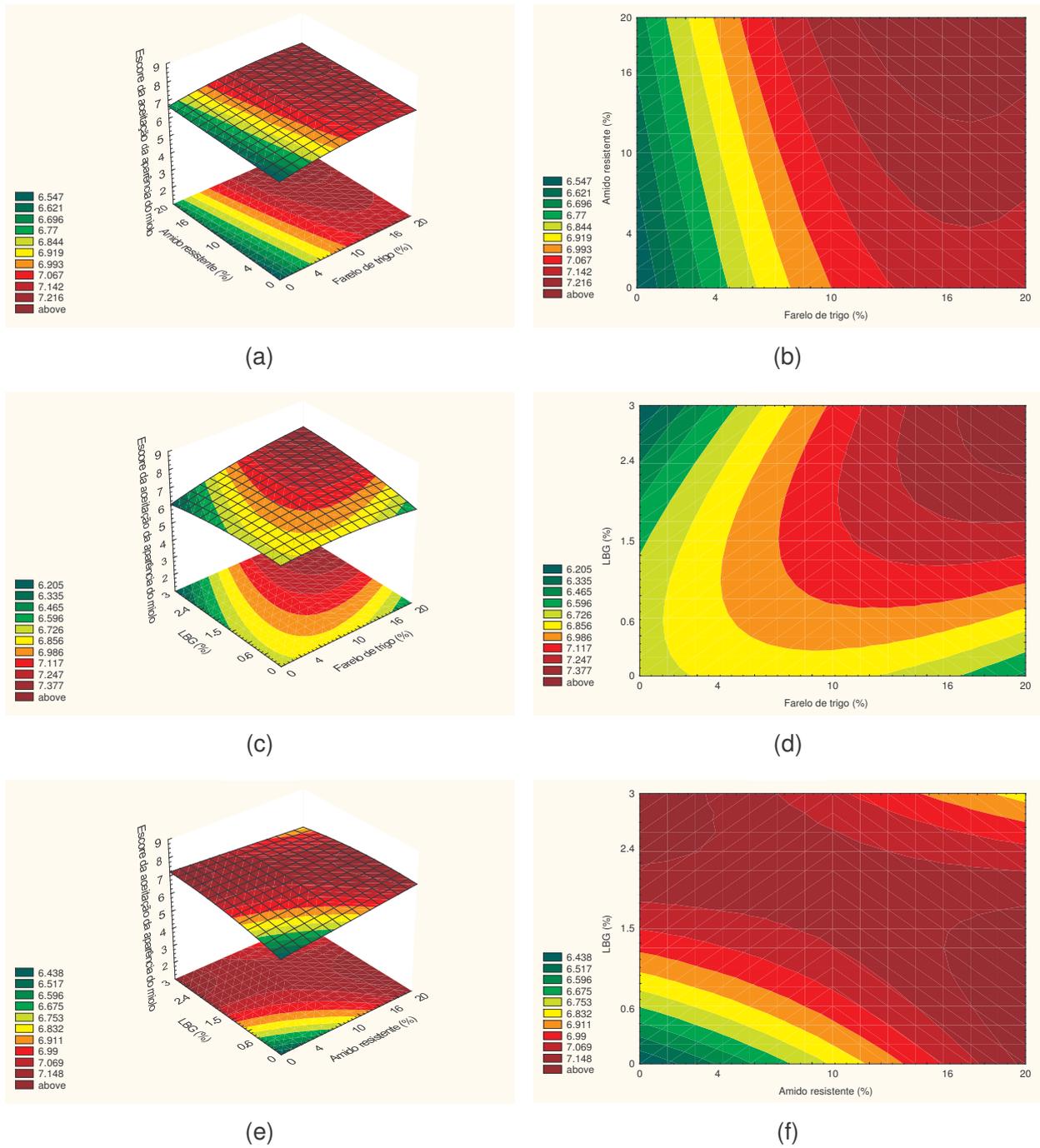
**Figura 56:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.



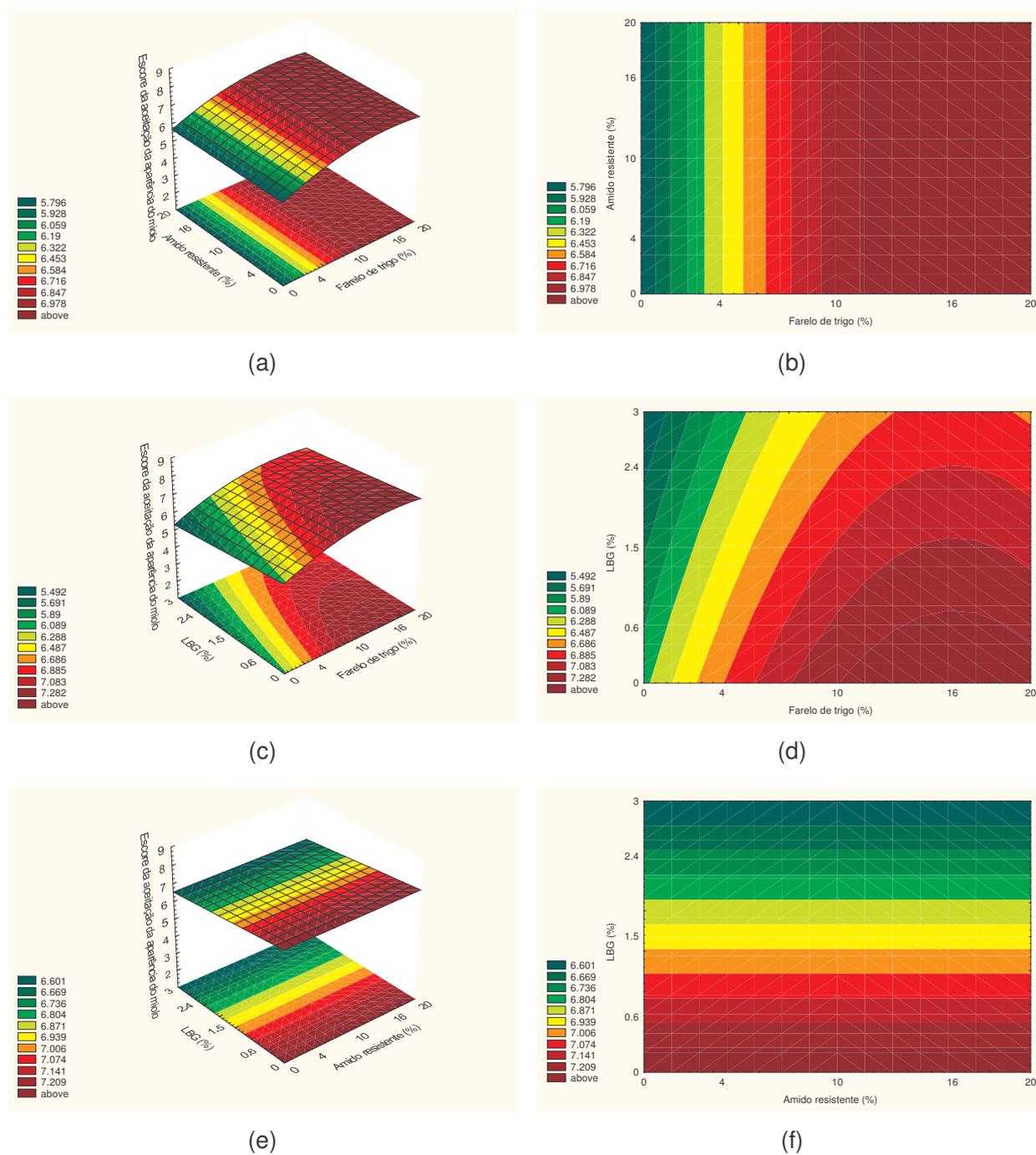
**Figura 57:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.



**Figura 58:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da aparência do miolo dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



**Figura 59:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



**Figura 60:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da aparência do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Analisando-se as superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo dos PC e dos P32, observa-se que o escore da aceitação da aparência do miolo seguiu o mesmo comportamento do escore da aceitação da cor do miolo. O amido resistente e a LBG tiveram pouca interferência, enquanto que adições maiores de farelo de trigo fizeram que os provadores expressassem maior aceitação para este atributo sensorial.

De acordo com Pomeranz, Shogren e Finney (1976), a adição de até 7% de farelo de trigo deixou o miolo com características satisfatórias, enquanto que a adição de 10 e 15% deixou o miolo com características questionáveis a insatisfatórias. Finney, Henry e Jeffers (1985) constataram que, geralmente, quando o volume diminui, a aparência do miolo torna-se menos satisfatória.

Rao e Rao (1991) observaram que pães com 20, 30 e 40% de farelo de trigo possuíram menor escore para a aparência do miolo do que os pães sem incorporação de farelo ou com apenas 10% de adição. O escore de aparência de pães não fermentados (Phulkas e Chapathis) com adição de farelo de trigo (5 a 15%) foi menor do que o do pão controle (sem adição de farelo) (SHENOY; PRAKASH, 2002). Basman e Köksel (1999, 2001) verificaram que o aumento dos níveis de adição de farelo de trigo levou a uma diminuição progressiva do escore da estrutura do miolo de pães típicos da Turquia (Bazlama e Yufka). Em trabalho realizado por Gómez *et al.* (2003), os provadores demonstraram melhor aceitação para o pão sem fibras adicionadas do que para os pães que possuíam 2 e 5% de adição de fibra de trigo.

Eerlingen *et al.* (1994) não detectaram diferença sensorial entre a estrutura do miolo de pães formulados com 20% (base farinha) de amido de milho de alto teor de amilose (75%) com a de pães sem adição.

Através das superfícies geradas pelo modelo dos P62, pôde-se visualizar a não interferência da adição das diferentes concentrações de amido resistente, já constatada anteriormente pela análise dos coeficientes de regressão. No entanto, para o farelo de trigo e para a LBG, a adição de concentrações maiores que 10%

e menores que 0,6%, respectivamente, proporcionou a obtenção de escores maiores para a aparência do miolo.

A análise destas superfícies referentes à aceitação da aparência do miolo (Figuras 58, 59 e 60), como também as referentes à aceitação da cor do miolo (Figuras 52, 53 e 54), confirmaram os comentários registrados nas fichas de avaliação pelos consumidores. Constatou-se que, quando se trata de um pão com fibras, eles esperam visualizá-las no produto. Como a LBG e o amido resistente são fontes de fibra claras e de granulometria muito fina, o farelo de trigo é a principal fonte de fibra alimentar responsável por mudanças no aspecto e cor do miolo dos pães, por ser constituído de partículas escuras e maiores. Esta última afirmação (farelo de trigo ser a principal fonte de fibra responsável por mudanças no aspecto e cor do miolo) pôde ser constatada, principalmente, através da avaliação dos pães do ensaio 09, que não possuía adição de farelo de trigo. Os consumidores, nos comentários, demonstravam sua “indignação” e questionavam o fato de um pão “branco” estar sendo apresentado em uma avaliação de pão com fibras. Apesar da ficha afirmar que a avaliação sensorial se tratava de um pão com fibras, eles contestavam tal afirmação ou indicavam que aquele aspecto e cor do miolo não eram o esperado para o produto ou então, afirmavam que o pão era muito semelhante a um pão sem a adição de fibras.

Logo, os miolos dos pães com maiores concentrações de farelo de trigo foram melhor avaliados, tanto em relação à aparência como em relação à cor. A adição acima de 10% proporcionou bons resultados para a avaliação sensorial da aceitação da aparência e da cor do miolo de todos os pães (PC, P32 e P62).

#### **4.3.3.2.5. Aceitação do aroma**

A Tabela 102 apresenta o escore da aceitação do aroma dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 102:** Escore da aceitação do aroma dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Escore da aceitação do aroma		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	6,6 ± 1,6	6,2 ± 1,5	6,5 ± 1,9
2	+1	-1	-1	7,2 ± 1,3	6,5 ± 1,7	6,8 ± 1,5
3	-1	+1	-1	7,3 ± 1,3	6,2 ± 1,6	6,8 ± 1,5
4	+1	+1	-1	7,4 ± 1,3	6,9 ± 1,4	6,9 ± 1,8
5	-1	-1	+1	7,2 ± 1,2	7,2 ± 1,6	6,7 ± 1,4
6	+1	-1	+1	7,4 ± 1,1	7,1 ± 1,5	7,4 ± 1,4
7	-1	+1	+1	7,0 ± 1,1	6,4 ± 1,3	6,2 ± 1,8
8	+1	+1	+1	7,3 ± 1,3	6,8 ± 1,8	7,1 ± 1,5
9	-1,68	0	0	7,1 ± 1,3	6,7 ± 1,6	6,4 ± 1,9
10	+1,68	0	0	7,2 ± 1,2	7,2 ± 1,8	7,2 ± 1,5
11	0	-1,68	0	7,1 ± 1,4	6,9 ± 1,3	6,7 ± 1,7
12	0	+1,68	0	7,1 ± 1,0	6,9 ± 1,6	7,0 ± 1,3
13	0	0	-1,68	7,3 ± 1,2	6,4 ± 1,8	6,6 ± 1,6
14	0	0	+1,68	7,3 ± 1,3	6,9 ± 1,2	6,4 ± 1,6
15	0	0	0	7,5 ± 1,3	6,9 ± 1,4	7,1 ± 1,7
16	0	0	0	6,9 ± 1,6	6,9 ± 1,7	6,9 ± 1,4
17	0	0	0	7,2 ± 1,2	6,9 ± 1,4	6,5 ± 2,1
18	0	0	0	7,3 ± 1,4	6,5 ± 1,3	6,9 ± 1,7

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 30.

\*\* avaliação por escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente).

Como pode ser observado nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 102), os PC apresentaram escores para a aceitação do aroma entre 6,6 e 7,5, enquanto que os P32 apresentaram valores entre 6,2 e 7,2 e os P62 valores entre 6,2 e 7,4. Percebe-se que os intervalos de variação apresentaram valores muito próximos entre eles, o que demonstra que os

consumidores não expressaram diferença de aceitabilidade do aroma entre os PC e os pães pré-assados reassados. Além disso, nota-se que o período de estocagem dos pães pré-assados parece não ter interferido também na aceitabilidade deste atributo sensorial. De acordo com Kennedy (2000), o processo de pré-assamento tem a vantagem de proporcionar no final do procedimento atributos de aroma e temperatura ao produto, os quais estão nobremente associados como características de produto fresco. Os consumidores expressaram sua aceitação para o aroma, em média, de gostei ligeiramente a gostei moderadamente para os todos os pães.

Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos PC. Os valores da Tabela 103 confirmam esta avaliação. Desta forma, não foi possível estabelecer um modelo para a resposta score da aceitação do aroma dos PC em função das três fontes de fibra alimentar estudadas.

Rao e Rao (1991) observaram que os diferentes níveis de adição de farelo de trigo afetaram o score do aroma do pão. Pães com 20, 30 e 40% de farelo de trigo possuíram maior score do que os pães sem incorporação de farelo ou com apenas 10% de adição. No entanto, Basman e Köksel (1999, 2001) observaram que o aumento dos níveis de adição de farelo de trigo levou a uma progressiva diminuição do score do aroma de pães típicos da Turquia (Bazlama e Yufka). Em trabalho realizado por Shenoy e Prakash (2002), o score de aroma de pães não fermentados (Phulkas e Chapathis) com adição de 10 e 15% de farelo de trigo foi menor do que o do pão controle (sem adição de farelo). Para Phulkas, a incorporação de 5% não causou diferença deste score em relação ao pão controle, no entanto, para Chapathis este nível de incorporação já causou diferença.

Eerlingen *et al.* (1994) não detectaram diferença sensorial entre a intensidade do aroma de pães formulados com 20% (base farinha) de amido de milho de alto teor de amilose (75%) com a de pães sem adição.

Wang, Rosell e Barber (2002) verificaram que pães elaborados com 3% de LBG tiveram pior aceitabilidade do aroma em relação ao pão sem adição de fibra.

Para os P32 e P62, também não foi possível estabelecer modelos para esta resposta, apesar dos fatores lineares da LBG e do farelo de trigo terem sido significativos a 95%, respectivamente (Tabelas 104 e 105). Os coeficientes de determinação foram muito baixos e os resíduos muito altos.

Isto indica que independentemente das quantidades adicionadas de farelo de trigo, amido resistente e LBG, o escore da aceitação do aroma obtido pelos pães ficou dentro do intervalo do valor médio e seu erro padrão, ou seja, os provadores, em média, não expressaram diferença de aceitação entre o aroma dos pães dos dezoito ensaios.

**Tabela 103:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do aroma dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7,21	0,11	65,19	<0,0001
FT (L)	0,08	0,06	1,34	0,2740
FT (Q)	-0,02	0,06	-0,34	0,7584
AR (L)	0,05	0,06	0,89	0,4373
AR (Q)	-0,04	0,06	-0,68	0,5453
LBG (L)	0,02	0,06	0,34	0,7567
LBG (Q)	0,03	0,06	0,48	0,6637
FT x AR	-0,05	0,08	-0,70	0,5352
FT x LBG	-0,01	0,08	-0,18	0,8691
AR x LBG	-0,14	0,08	-1,74	0,1810

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 104:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do aroma dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,81	0,09	74,44	<0,0001
FT (L)	0,16	0,05	3,15	0,0511
FT (Q)	0,02	0,05	0,47	0,6719
AR (L)	-0,04	0,05	-0,85	0,4558
AR (Q)	-0,01	0,05	-0,12	0,9157
LBG (L)*	0,19	0,05	3,91	0,0298
LBG (Q)	-0,09	0,05	-1,79	0,1706
FT x AR	0,12	0,06	1,79	0,1707
FT x LBG	-0,09	0,06	-1,43	0,2474
AR x LBG	-0,19	0,06	-2,88	0,0633

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 105:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do aroma dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,83	0,13	52,57	<0,0001
FT (L)*	0,25	0,07	3,51	0,0392
FT (Q)	<0,01	0,07	0,03	0,9753
AR (L)	0,01	0,07	0,20	0,8546
AR (Q)	0,03	0,07	0,38	0,7260
LBG (L)	<0,01	0,07	0,06	0,9523
LBG (Q)	-0,10	0,07	-1,39	0,2593
FT x AR	0,01	0,09	0,15	0,8894
FT x LBG	0,13	0,09	1,43	0,2470
AR x LBG	-0,15	0,09	-1,59	0,2095

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

#### 4.3.3.2.6. Aceitação do sabor

A Tabela 106 apresenta o escore da aceitação do sabor dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 106:** Escore da aceitação do sabor dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Escore da aceitação do sabor		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	6,2 ± 1,9	6,7 ± 1,5	6,9 ± 1,5
2	+1	-1	-1	7,2 ± 1,2	5,7 ± 2,1	6,7 ± 1,5
3	-1	+1	-1	6,8 ± 1,5	6,4 ± 1,8	6,1 ± 2,2
4	+1	+1	-1	6,7 ± 1,4	6,3 ± 1,5	7,0 ± 1,9
5	-1	-1	+1	7,3 ± 1,3	7,0 ± 1,5	6,6 ± 2,0
6	+1	-1	+1	6,8 ± 1,3	6,9 ± 1,6	7,2 ± 1,3
7	-1	+1	+1	7,0 ± 1,3	6,1 ± 1,7	5,7 ± 2,0
8	+1	+1	+1	6,6 ± 1,5	6,5 ± 1,7	6,9 ± 1,9
9	-1,68	0	0	6,6 ± 1,8	6,8 ± 1,4	6,3 ± 2,0
10	+1,68	0	0	6,8 ± 1,5	7,2 ± 1,6	7,0 ± 1,3
11	0	-1,68	0	7,1 ± 1,1	6,8 ± 1,4	6,8 ± 1,6
12	0	+1,68	0	7,1 ± 1,4	6,3 ± 1,8	6,8 ± 1,7
13	0	0	-1,68	7,0 ± 1,7	5,8 ± 1,9	7,0 ± 1,4
14	0	0	+1,68	6,7 ± 1,3	6,8 ± 1,5	6,2 ± 1,7
15	0	0	0	6,8 ± 1,8	6,9 ± 1,5	6,2 ± 1,8
16	0	0	0	6,9 ± 1,3	6,0 ± 2,0	6,1 ± 1,5
17	0	0	0	6,9 ± 1,5	7,2 ± 1,2	6,3 ± 2,0
18	0	0	0	6,6 ± 1,7	6,0 ± 1,6	6,7 ± 1,9

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 30.

\*\* avaliação por escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente).

Como pode ser observado nos resultados obtidos para os diferentes ensaios realizados (Tabela 106), os PC apresentaram escores da aceitação do sabor entre 6,2 e 7,3, enquanto que os P32 apresentaram valores entre 5,7 e 7,2 e os P62 valores entre 5,7 e 7,2. Nota-se que estes intervalos de variação apresentaram valores muito próximos entre eles. Os consumidores expressaram sua aceitação para o sabor, em média, como gostei ligeiramente a gostei moderadamente para os PC e como indiferente a gostei moderadamente para os P32 e P62.

Para todos os pães, não foi possível estabelecer modelos para a resposta escore da aceitação do sabor em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos P32. Para os PC e P62, o fator de interação do farelo de trigo e da LBG e o fator linear do farelo de trigo foram significativos a 95%, respectivamente (Tabelas 107, 108 e 109). No entanto, não pôde-se chegar a um modelo que explicasse os dados experimentais, já que o coeficiente de determinação foi muito baixo e os resíduos muito altos.

Isto indica que independentemente das quantidades adicionadas de farelo de trigo, amido resistente e LBG, o escore da aceitação do sabor obtido pelos pães ficou dentro do intervalo do valor médio e seu erro padrão, ou seja, os provadores, em média, não expressaram diferença de aceitação entre o sabor dos pães dos dezoito ensaios.

Al-Saqer, Sidhu e Al-Hooti (2000) verificaram que a adição de 10 a 30% de farelo de trigo não provocou mudança de aceitabilidade do sabor dos pães. Em estudo de Pomeranz, Shogren e Finney (1976), o painel indicou que a adição de farelo de trigo modificou o sabor do pão, mas a modificação não foi contestada (desaprovada). Rao e Rao (1991) observaram que o escore do sabor diminuiu gradativamente com o aumento do nível de farelo de trigo adicionado (10 a 40%) e, estes foram menores do que o escore obtido pelo pão sem adição. Basman e Köksel (1999, 2001) observaram que o aumento dos níveis de adição de farelo de

trigo levou a uma diminuição progressiva do escore do sabor de pães típicos da Turquia (Bazlama e Yufka).

Eerlingen *et al.* (1994) não detectaram diferença sensorial entre a intensidade do sabor de pães formulados com 20% (base farinha) de amido de milho de alto teor de amilose (75%) com a de pães sem adição.

Wang, Rosell e Barber (2002) verificaram que pães elaborados com 3% de LBG tiveram pior aceitabilidade do sabor em relação ao pão sem adição de fibra.

**Tabela 107:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do sabor dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,79	0,08	81,38	<0,0001
FT (L)	0,03	0,05	0,71	0,5275
FT (Q)	-0,04	0,05	-0,91	0,4288
AR (L)	-0,02	0,05	-0,48	0,6633
AR (Q)	0,09	0,05	1,84	0,1627
LBG (L)	0,03	0,05	0,60	0,5898
LBG (Q)	0,02	0,05	0,37	0,7393
FT x AR	-0,14	0,06	-2,30	0,1053
FT x LBG*	-0,23	0,06	-3,92	0,0296
AR x LBG	-0,07	0,06	-1,22	0,3106

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 108:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do sabor dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,53	0,31	21,37	0,0002
FT (L)	-0,01	0,17	-0,06	0,9592
FT (Q)	0,13	0,17	0,78	0,4929
AR (L)	-0,13	0,17	-0,80	0,4840
AR (Q)	-0,03	0,17	-0,18	0,8664
LBG (L)	0,23	0,17	1,40	0,2555
LBG (Q)	-0,12	0,17	-0,69	0,5374
FT x AR	0,17	0,22	0,81	0,4782
FT x LBG	0,19	0,22	0,86	0,4529
AR x LBG	-0,20	0,22	-0,93	0,4225

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 109:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação do sabor dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,33	0,13	50,14	<0,0001
FT (L)*	0,25	0,07	3,69	0,0346
FT (Q)	0,10	0,07	1,35	0,2705
AR (L)	-0,13	0,07	-1,85	0,1619
AR (Q)	0,15	0,07	2,13	0,1229
LBG (L)	-0,12	0,07	-1,76	0,1774
LBG (Q)	0,08	0,07	1,09	0,3547
FT x AR	0,23	0,09	2,52	0,0862
FT x LBG	0,13	0,09	1,49	0,2342
AR x LBG	-0,07	0,09	-0,77	0,4973

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

#### 4.3.3.2.7. Aceitação da textura

A Tabela 110 apresenta o escore da aceitação da textura dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 110:** Escore da aceitação da textura dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Escore da aceitação da textura		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	6,1 ± 2,3	6,8 ± 1,7	6,5 ± 2,0
2	+1	-1	-1	7,0 ± 1,6	5,8 ± 2,0	6,3 ± 1,6
3	-1	+1	-1	6,9 ± 1,7	5,5 ± 2,2	5,1 ± 2,1
4	+1	+1	-1	6,1 ± 1,8	6,2 ± 1,8	7,4 ± 1,3
5	-1	-1	+1	7,4 ± 1,5	7,3 ± 1,9	6,8 ± 2,1
6	+1	-1	+1	7,1 ± 1,3	6,8 ± 1,9	7,3 ± 1,5
7	-1	+1	+1	7,2 ± 1,2	7,0 ± 1,5	5,5 ± 2,3
8	+1	+1	+1	6,2 ± 1,7	6,8 ± 1,9	7,2 ± 1,4
9	-1,68	0	0	7,1 ± 1,7	7,0 ± 1,8	6,0 ± 2,5
10	+1,68	0	0	6,6 ± 1,3	7,3 ± 1,3	6,4 ± 1,9
11	0	-1,68	0	7,4 ± 1,5	6,5 ± 2,0	6,7 ± 1,8
12	0	+1,68	0	7,1 ± 1,6	6,1 ± 1,8	7,1 ± 1,6
13	0	0	-1,68	6,9 ± 1,8	5,4 ± 2,1	6,7 ± 1,9
14	0	0	+1,68	6,9 ± 1,6	7,5 ± 1,5	6,6 ± 1,8
15	0	0	0	6,8 ± 1,9	6,9 ± 1,2	5,8 ± 1,6
16	0	0	0	6,8 ± 1,7	4,9 ± 2,5	5,6 ± 1,7
17	0	0	0	6,9 ± 1,3	7,3 ± 1,6	6,0 ± 2,2
18	0	0	0	6,8 ± 1,6	6,3 ± 1,7	6,3 ± 2,3

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 30.

\*\* avaliação por escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente).

Fazendo uma análise dos escores da aceitação da textura apresentados na Tabela 110, verifica-se que esta resposta apresentou valores mínimo e máximo de 6,1 e 7,4 para os PC, 4,9 e 7,5 para os P32 e 5,1 e 7,4 para os P62, respectivamente. Logo, observa-se que os consumidores avaliaram a textura com aceitação expressa, em média, como gostei ligeiramente a gostei moderadamente para os PC e como indiferente a gostei moderadamente para os P32 e P62.

Através dos resultados da Tabela 110, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para a aceitabilidade da textura dos PC, P32 e P62. Para os P32, nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ). A Tabela 112 confirma esta avaliação. Desta forma, não foi possível estabelecer um modelo para esta resposta dos P32 em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Para os PC e P62, observou-se que as três fontes de fibra alimentar tiveram influência na aceitação da textura (Tabelas 111 e 113).

**Tabela 111:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da textura dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,82	0,02	282,88	<0,0001
FT (L)*	-0,15	0,01	-11,24	0,0015
FT (Q)	-0,03	0,01	-2,35	0,0999
AR (L)*	-0,12	0,01	-9,55	0,0024
AR (Q)*	0,09	0,01	6,43	0,0076
LBG (L)*	0,12	0,01	9,47	0,0025
LBG (Q)	-0,03	0,01	-2,13	0,1227
FT x AR*	-0,31	0,02	-17,89	0,0004
FT x LBG*	-0,20	0,02	-11,49	0,0014
AR x LBG*	-0,11	0,02	-6,58	0,0071

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 112:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da textura dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6,35	0,52	12,11	0,0012
FT (L)	-0,05	0,28	-0,17	0,8777
FT (Q)	0,27	0,30	0,92	0,4245
AR (L)	-0,13	0,28	-0,47	0,6704
AR (Q)	-0,05	0,30	-0,18	0,8699
LBG (L)	0,51	0,28	1,81	0,1679
LBG (Q)	0,01	0,30	0,04	0,9730
FT x AR	0,26	0,37	0,69	0,5400
FT x LBG	-0,05	0,37	-0,13	0,9054
AR x LBG	0,07	0,37	0,19	0,8606

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 113:** Coeficientes de regressão para a resposta escore da aceitação da textura dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	5,95	0,14	41,82	<0,0001
FT (L)*	0,36	0,08	4,72	0,0180
FT (Q)	0,07	0,08	0,83	0,4659
AR (L)	-0,06	0,08	-0,82	0,4699
AR (Q)*	0,31	0,08	3,88	0,0303
LBG (L)	0,08	0,08	1,08	0,3607
LBG (Q)*	0,23	0,08	2,88	0,0636
FT x AR*	0,46	0,10	4,55	0,0199
FT x LBG*	0,01	0,10	0,07	0,9459
AR x LBG	-0,12	0,10	-1,23	0,3062

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 90% de confiança ( $p < 0,10$ ).

As ANOVAs (Tabelas 114 e 115) correspondentes aos modelos do escore da aceitação da textura dos PC e P62 apresentam uma variação explicada de 75,91% e 73,00%, respectivamente. No teste F, os valores calculados foram maiores que os valores tabelados.

**Tabela 114:** ANOVA para a resposta escore da aceitação da textura dos pães convencionais.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	2,00	7	0,29	4,50
resíduos	0,64	10	0,06	
falta de ajuste	0,63	7	0,09	
erro puro	0,01	3	<0,01	
total	2,64	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7591;  $F_{7; 10; 0,05} = 3,14$

**Tabela 115:** ANOVA para a resposta escore da aceitação da textura dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	5,04	4	1,26	8,79
resíduos	1,86	13	0,14	
falta de ajuste	1,62	10	0,16	
erro puro	0,24	3	0,08	
total	6,90	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7300;  $F_{4; 13; 0,10} = 2,43$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs, pôde-se obter os modelos codificados que descrevem o comportamento do escore da aceitação da textura dos PC e P62, expressos nas Equações 33 e 34. No Anexo FK estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis

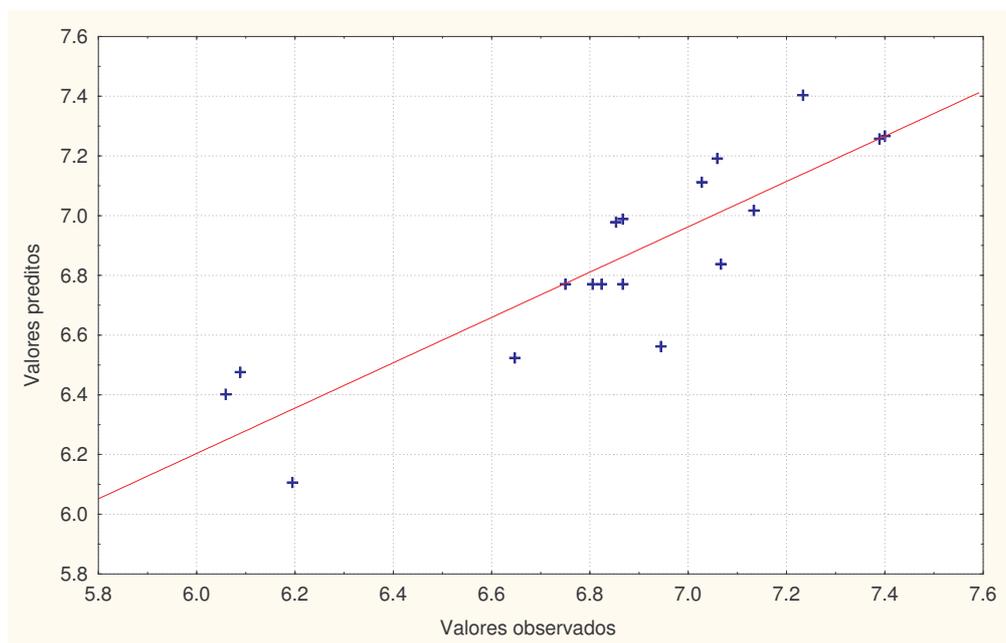
codificadas e os desvios relativos. As Figuras 61 e 62 mostram que os modelos são adequados para a avaliação da tendência desta resposta. Assim é possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno dos escores da aceitação da textura dos pães, apresentadas nas Figuras 63 e 64.

Escore da aceitação

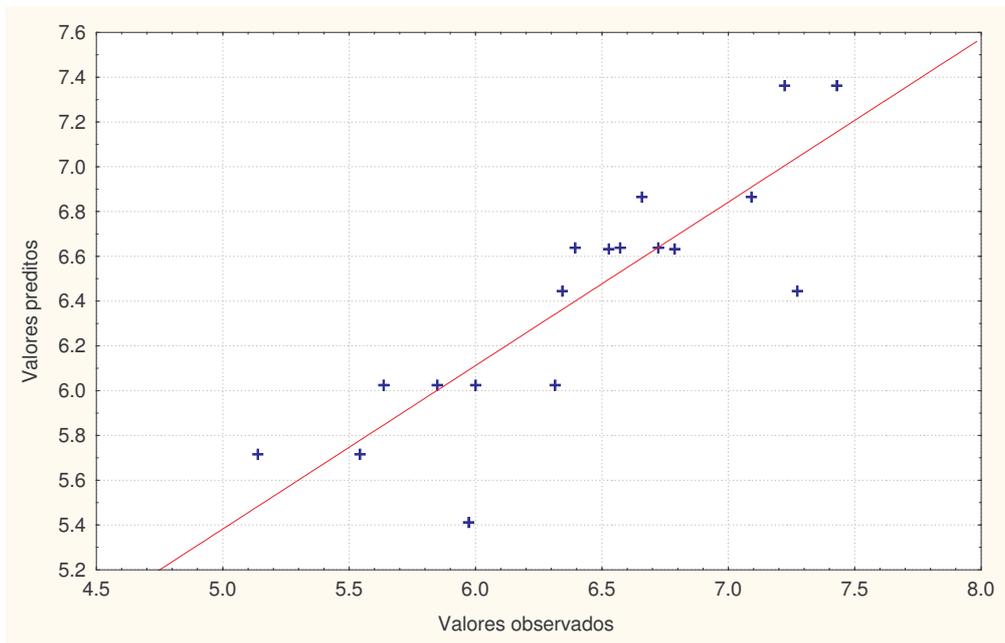
$$\begin{aligned} \text{da textura dos PC} = & 6,77 - 0,15 \text{ FT} - 0,12 \text{ AR} + 0,10 \text{ AR}^2 + 0,12 \text{ LBG} - \\ & 0,31 \text{ FT AR} - 0,20 \text{ FT LBG} - 0,11 \text{ AR LBG} \end{aligned} \quad (33)$$

Escore da aceitação

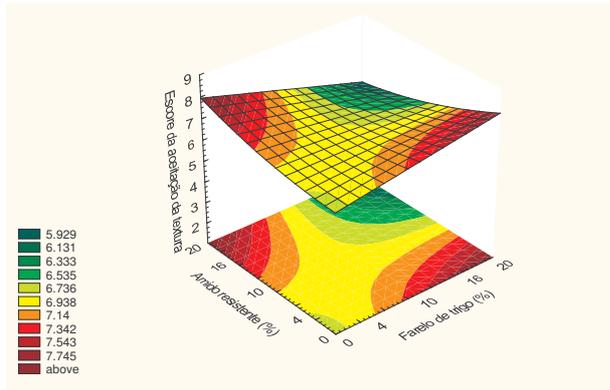
$$\begin{aligned} \text{da textura dos P62} = & 6,03 + 0,36 \text{ FT} + 0,30 \text{ AR}^2 + 0,22 \text{ LBG}^2 + \\ & 0,46 \text{ FT AR} \end{aligned} \quad (34)$$



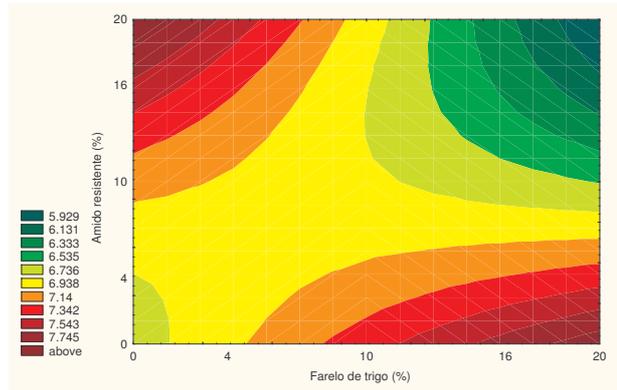
**Figura 61:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da textura dos pães convencionais.



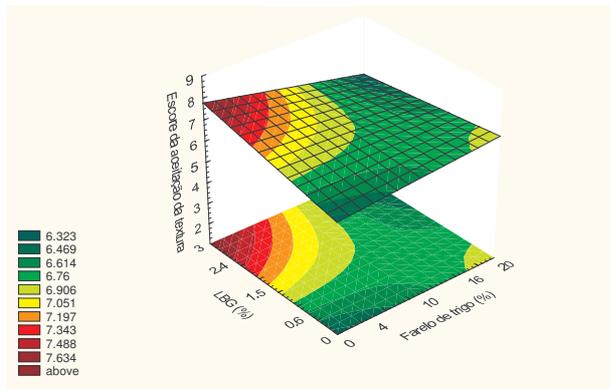
**Figura 62:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do escore da textura dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.



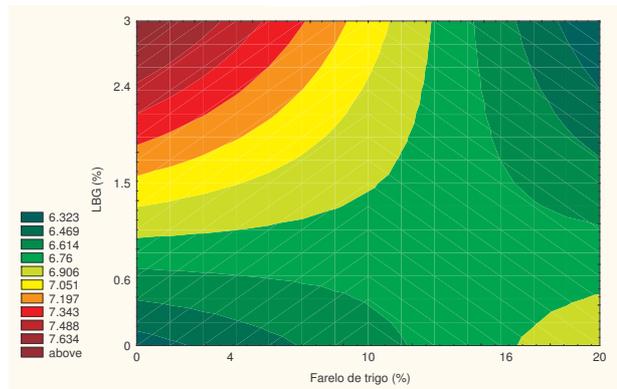
(a)



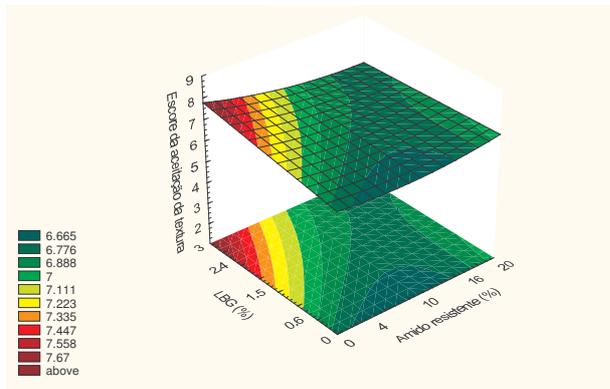
(b)



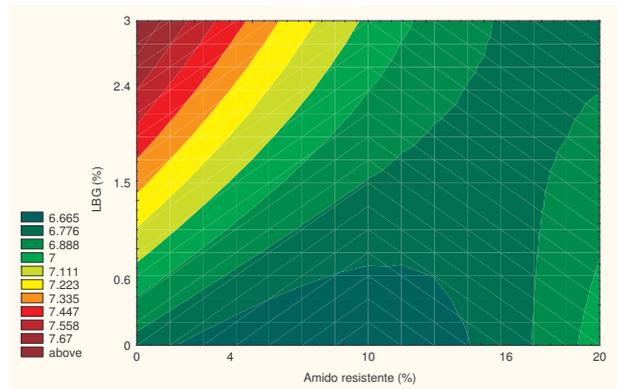
(c)



(d)

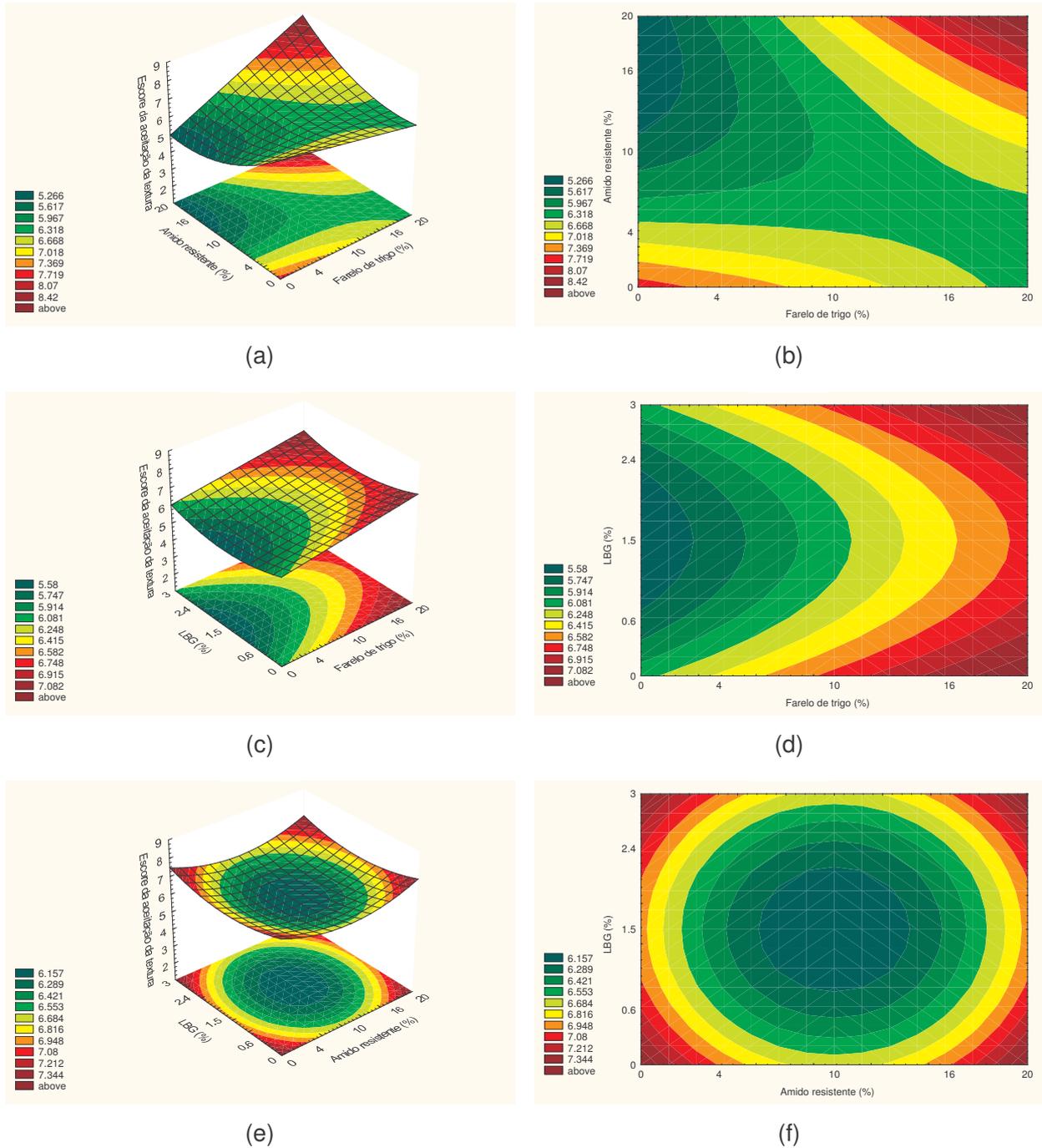


(e)



(f)

**Figura 63:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da textura dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



**Figura 64:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o escore da aceitação da textura dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Analisando-se as superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo dos PC, observa-se que a aceitação da textura destes pães foi maior quando níveis menores de farelo de trigo e amido resistente foram adicionados à farinha de trigo (menores que 4,0% para ambos), enquanto que para a LBG, níveis maiores que 1,5% favoreceram a obtenção de escores maiores. Logo, observa-se que os PC que tiveram melhor aceitação quanto à cor e à aparência do miolo foram os que tiveram menor aceitação em termos de textura. O emprego de farelo de trigo em concentrações maiores (acima de 10%) e LBG em concentrações menores (menor que 0,6%) beneficiam a cor e a aparência do miolo e prejudicam a textura dos PC, de acordo com a avaliação dos consumidores. No entanto, a textura dos pães pior avaliados em relação a este atributo não chega a ser desagradável, uma vez que, em média, os consumidores expressaram a sua aceitação com o termo gostei ligeiramente.

Em estudo de Pomeranz, Shogren e Finney (1976), o painel indicou que a adição de farelo de trigo modificou a textura do pão, mas a modificação não foi contestada (desaprovada). Rao e Rao (1991) observaram que pães com 20, 30 e 40% de farelo de trigo possuíram menor escore de textura do que os pães sem incorporação de farelo ou com apenas 10% de adição. O escore de textura de pães não fermentados (Phulkas e Chapathis) com adição de 10 e 15% de farelo de trigo foi menor do que o do pão controle (sem adição de farelo). Para Phulkas, a incorporação de 5% não causou diferença deste escore em relação ao pão controle, no entanto, para Chapathis este nível de incorporação já causou diferença (SHENOY; PRAKASH, 2002). Basman e Köksel (1999, 2001) observaram que o aumento dos níveis de adição de farelo de trigo levou a uma diminuição progressiva do escore da textura de pães típicos da Turquia (Bazlama e Yufka).

Eerlingen *et al.* (1994) não detectaram diferença sensorial entre textura de pães formulados com 20% (base farinha) de amido de milho de alto teor de amilose (75%) com a de pães sem adição.

Através das superfícies geradas pelo modelo dos P62, percebe-se que altas concentrações de farelo de trigo favoreceram a aceitação da textura enquanto que o amido resistente e a LBG não apresentaram muita interferência neste atributo sensorial.

Em resumo, a Tabela 116 apresenta a média dos escores dos atributos do teste de aceitação dos pães com os diferentes períodos de estocagem congelada.

**Tabela 116:** Média dos escores dos atributos do teste de aceitação dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Atributos	PC	P32	P62
Cor da crosta	7,5 <sup>a</sup> ± 0,2	7,2 <sup>b</sup> ± 0,4	7,1 <sup>b</sup> ± 0,4
Cor do miolo	7,3 <sup>a</sup> ± 0,5	7,1 <sup>b</sup> ± 0,3	7,1 <sup>b</sup> ± 0,5
Aparência da crosta	7,2 <sup>a</sup> ± 0,2	6,8 <sup>b</sup> ± 0,3	6,7 <sup>b</sup> ± 0,5
Aparência do miolo	7,3 <sup>a</sup> ± 0,4	7,0 <sup>b</sup> ± 0,3	6,8 <sup>b</sup> ± 0,5
Aroma	7,2 <sup>a</sup> ± 0,2	6,8 <sup>b</sup> ± 0,3	7,8 <sup>b</sup> ± 0,3
Sabor	6,8 <sup>a</sup> ± 0,2	6,5 <sup>a</sup> ± 0,4	6,6 <sup>a</sup> ± 0,4
Textura	6,9 <sup>a</sup> ± 0,4	6,5 <sup>a</sup> ± 0,7	6,4 <sup>a</sup> ± 0,7

PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* avaliação por escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9 = gostei extremamente).

\*\* média ± desvio padrão, n = 18. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Observando os valores apresentados na Tabela 116, nota-se que os pães pré-assados reassados, independentemente do período de estocagem congelada, apresentaram a mesma aceitação de sabor e textura que os pães assados convencionalmente, o que está de acordo com o relatado por Kennedy (2000).

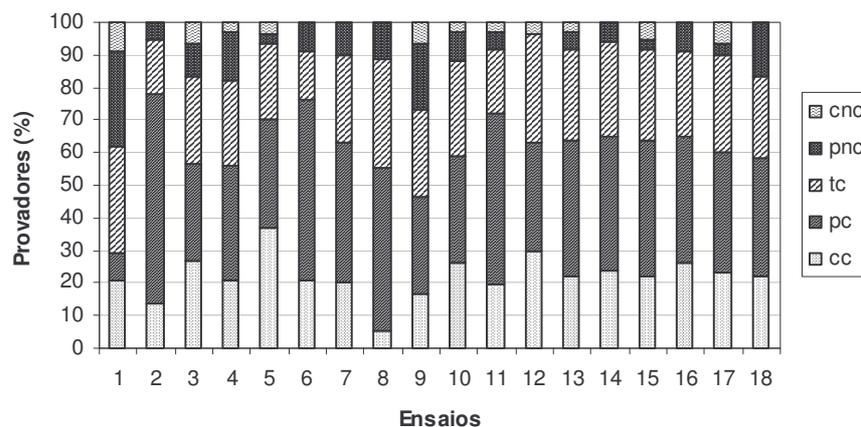
Um rápido ciclo de congelamento/descongelamento mostra reduzir significativamente o grau de envelhecimento esperado do pão. Isto é o que impulsiona o mercado de pães pré-assados, onde um rápido processo de congelamento pode ser acompanhado por um rápido descongelamento no forno. O envelhecimento do pão durante o congelamento/descongelamento tem se apresentado como um problema menor do que poderia ser antecipado devido a uma segunda alteração ao fenômeno de envelhecimento. Tem sido demonstrado por um grande número de pesquisadores que o envelhecimento depois de um ciclo de congelamento/descongelamento é retardado. Medidas de firmeza sugerem que 48 h após o descongelamento e reassamento, o pão pré-assado reassado que foi congelado apresenta firmeza similar à dos pães convencionais após 48 h de forneamento. Após algum tempo, o pão congelado e descongelado geralmente possui escores melhores do que o pão fresco. Isto sugere que ocorre algum rearranjo da umidade nos grânulos de amido. Embora a explicação deste efeito não é muito clara, ela é facilmente reproduzível. Estas medidas de compressibilidade mostram boa correlação com a aceitação do sabor do pão avaliado em diferentes estágios do processo de envelhecimento (Kennedy, 2000).

Verificou-se uma queda na aceitação dos atributos cor da crosta, cor do miolo, aparência da crosta, aparência do miolo e aroma dos pães pré-assados reassados em relação aos dos PC. O aumento do período de estocagem congelada de 32 para 62 dias não influenciou a aceitação de nenhum dos atributos sensoriais avaliados.

Fik e Surówka (2002) verificaram que o processo de congelamento e uma semana de estocagem congelada produziram relativamente uma pequena mudança na qualidade, reduzindo o escore do pão. Além disso, de cinco semanas para frente o escore sensorial permaneceu constante até o final do período de estocagem (11 semanas). De acordo com estes autores, a leve redução da qualidade sensorial, de muito bom para bom, foi devido principalmente à perda de aroma de pão fresco dos pães estocados.

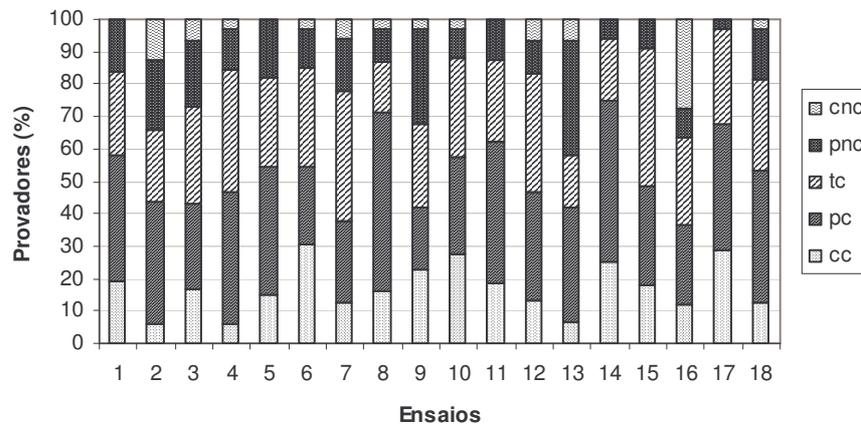
### 4.3.3.3. Intenção de compra

As Figuras 65, 66 e 67 apresentam a intenção de compra dos PC, P32 e P62 expressada pelos provadores. A Tabela 117 mostra que, de um modo geral, os consumidores apresentaram boa intenção de compra para os mesmos.



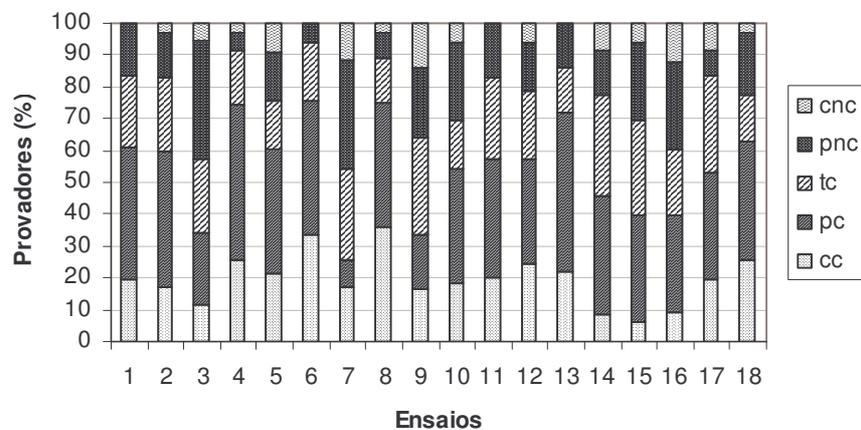
\*cc = certamente compraria; pc = provavelmente compraria; tc = talvez compraria, talvez não; pnc = provavelmente não compraria; cnc = certamente não compraria.

**Figura 65:** Intenção de compra dos pães convencionais.



\*cc = certamente compraria; pc = provavelmente compraria; tc = talvez compraria, talvez não; pnc = provavelmente não compraria; cnc = certamente não compraria.

**Figura 66:** Intenção de compra dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados.



\*cc = certamente compraria; pc = provavelmente compraria; tc = talvez compraria, talvez não; pnc = provavelmente não compraria; cnc = certamente não compraria.

**Figura 67:** Intenção de compra dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 117:** Porcentagem de provadores com intenção de compra certamente compraria e provavelmente compraria dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	% provadores com intenção de compra cc e pc		
				PC	P32	P62
1	-1	-1	-1	29,4	58,1	61,1
2	+1	-1	-1	77,8	43,8	60,0
3	-1	+1	-1	56,7	43,3	34,3
4	+1	+1	-1	55,9	46,9	74,3
5	-1	-1	+1	70,0	54,5	60,6
6	+1	-1	+1	76,5	54,5	75,8
7	-1	+1	+1	63,3	37,5	25,7
8	+1	+1	+1	55,6	71,0	75,0
9	-1,68	0	0	46,7	41,9	33,3
10	+1,68	0	0	58,8	57,6	54,5
11	0	-1,68	0	72,2	62,5	57,1
12	0	+1,68	0	63,3	46,7	57,6
13	0	0	-1,68	63,9	41,9	72,2
14	0	0	+1,68	64,7	75,0	45,7
15	0	0	0	63,9	48,5	39,4
16	0	0	0	64,7	36,4	39,4
17	0	0	0	60,0	67,7	52,8
18	0	0	0	58,3	53,1	62,9

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados; cc = certamente compraria; pc = provavelmente compraria.

Através dos resultados da Tabela 117, é possível verificar a possibilidade de um modelo de 2ª ordem. Assim, as Tabelas 118, 119 e 120 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para a porcentagem de provadores que certamente ou provavelmente compraria os pães.

**Tabela 118:** Coeficientes de regressão para a resposta intenção de compra dos pães convencionais.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	61,78	1,53	40,47	<0,0001
FT (L)*	4,89	0,83	5,90	0,0097
FT (Q)*	-3,39	0,86	-3,94	0,0292
AR (L)*	-2,72	0,83	-3,29	0,0461
AR (Q)	1,93	0,86	2,24	0,1105
LBG (L)*	3,44	0,83	4,16	0,0253
LBG (Q)	0,70	0,86	0,81	0,4759
FT x AR*	-7,92	1,08	-7,33	0,0052
FT x LBG*	-6,11	1,08	-5,65	0,0110
AR x LBG*	-4,12	1,08	-3,81	0,0318

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 119:** Coeficientes de regressão para a resposta intenção de compra dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	51,59	6,48	7,97	0,0041
FT (L)	3,59	3,51	1,02	0,3819
FT (Q)	-1,29	3,65	-0,35	0,7462
AR (L)	-2,85	3,51	-0,81	0,4769
AR (Q)	0,41	3,65	0,11	0,9170
LBG (L)	5,94	3,51	1,69	0,1890
LBG (Q)	1,79	3,65	0,49	0,6578
FT x AR	6,42	4,59	1,40	0,2562
FT x LBG	5,53	4,59	1,21	0,3142
AR x LBG	1,37	4,59	0,30	0,7842

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 120:** Coeficientes de regressão para a resposta intenção de compra dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	48,38	5,69	8,50	0,0034
FT (L)*	10,18	3,09	3,30	0,0458
FT (Q)	-0,65	3,21	-0,20	0,8530
AR (L)	-3,48	3,09	-1,13	0,3421
AR (Q)	4,10	3,21	1,28	0,2912
LBG (L)	-2,72	3,09	-0,88	0,4426
LBG (Q)	4,67	3,21	1,46	0,2416
FT x AR	9,41	4,03	2,33	0,1019
FT x LBG	3,19	4,03	0,79	0,4862
AR x LBG	-2,89	4,03	-0,72	0,5255

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos P32. A Tabela 119 confirma esta avaliação. Desta forma, não foi possível estabelecer um modelo para a resposta intenção de compra dos P32 em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Para os P62, também não foi possível estabelecer um modelo para a intenção de compra, apesar do fator linear do farelo de trigo ter sido significativo a 95% (Tabela 120). Esta fonte de fibra mostrou contribuir para um aumento da intenção de compra dos P62. Para os PC, observou-se que as três fontes de fibra alimentar tiveram influência na intenção de compra destes pães (Tabelas 118).

A ANOVA (Tabela 121) correspondente ao modelo da intenção de compra dos PC apresentou uma variação explicada de 83,31% e, no teste F, o valor calculado foi maior que o valor tabelado, a 95% de significância.

**Tabela 121:** ANOVA para a resposta intenção de compra dos pães convencionais.

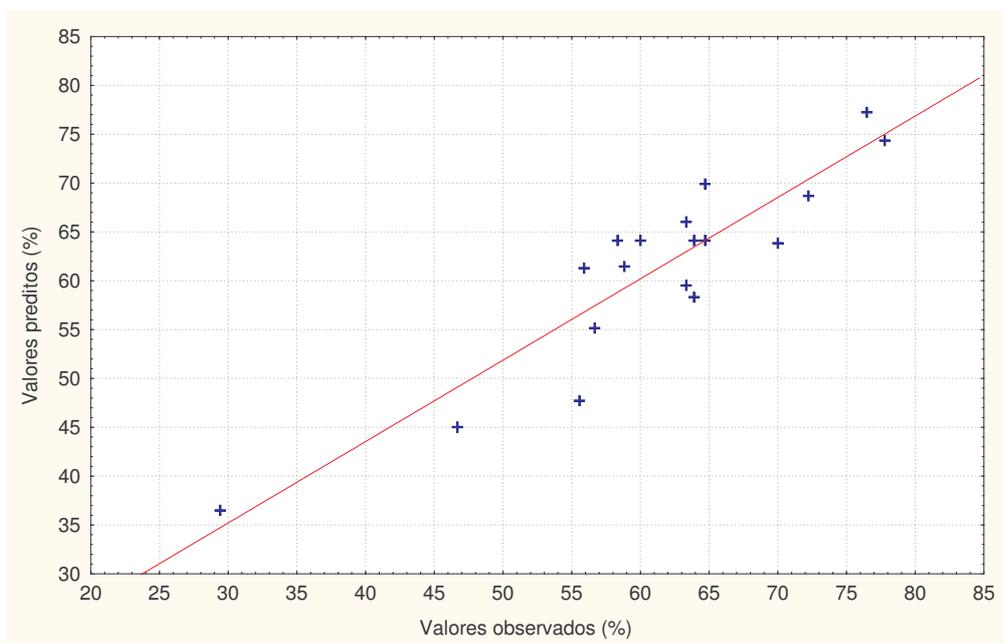
Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	1726,85	7	246,69	7,13
resíduos	345,94	10	34,59	
falta de ajuste	317,89	7	45,41	
erro puro	28,05	3	9,35	
Total	2072,79	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8331;  $F_{7; 10; 0,05} = 3,14$

Em vista dos resultados satisfatórios da análise de variância pôde-se obter o modelo com as variáveis codificadas que descreve o comportamento da intenção de compra dos PC, expresso na Equação 35. No Anexo FK estão apresentados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. A Figura 68 mostra que o modelo é adequado para a avaliação da tendência desta resposta. Assim, é possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno da intenção de compra dos PC, apresentadas na Figura 69.

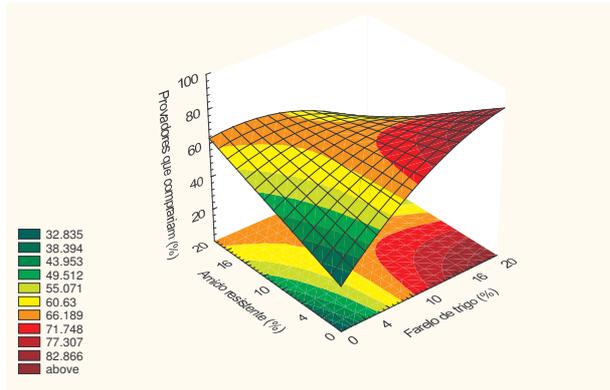
% dos provadores que

$$\begin{aligned} \text{comprariam os PC} = & 64,12 + 4,89 \text{ FT} - 3,84 \text{ FT}^2 - 2,72 \text{ AR} + \\ & 3,44 \text{ LBG} - 7,92 \text{ FT AR} - 6,11 \text{ FT LBG} - \\ & 4,12 \text{ AR LBG} \end{aligned} \quad (35)$$

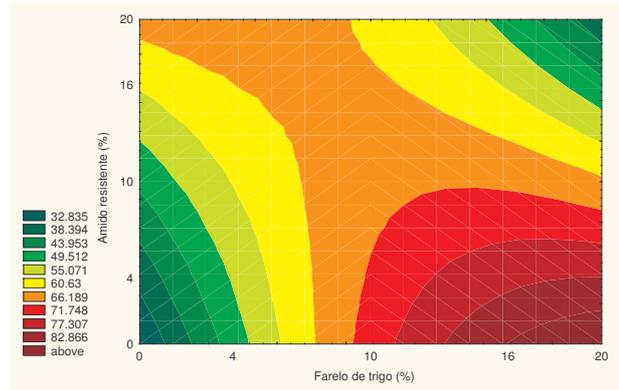


**Figura 68:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da intenção de compra dos pães convencionais.

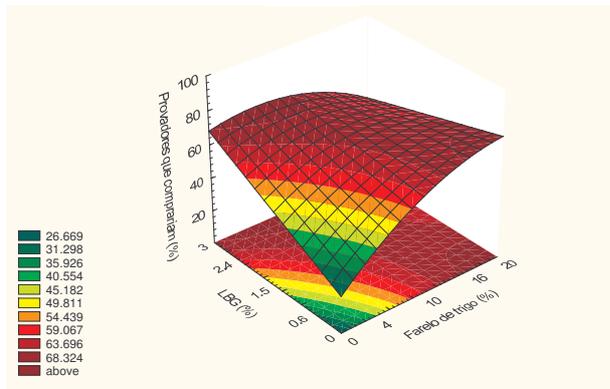
Através das superfícies de resposta e curvas de contorno obtidas pelo modelo (Figura 69) observa-se que os provadores expressaram melhor intenção de compra em concentrações maiores de farelo de trigo e de LBG. No entanto, quando o farelo de trigo está em concentrações superiores a 16%, a LBG deve estar em concentrações abaixo de 1,5% para que se tenha um maior número de provadores com boa intenção de intenção de compra. De uma maneira geral, concentrações maiores de amido resistente demonstraram interferir negativamente sobre esta resposta.



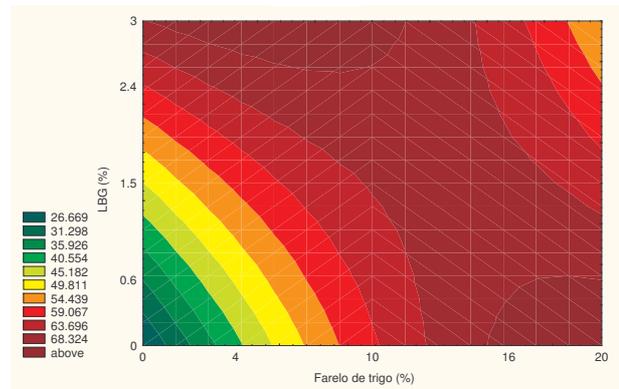
(a)



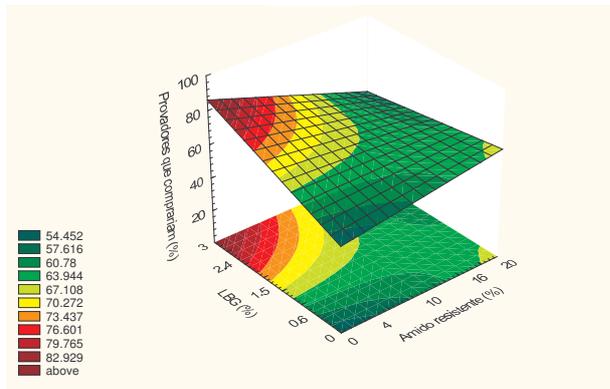
(b)



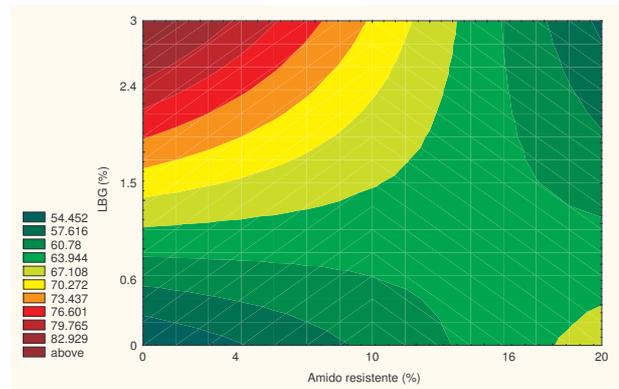
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 69:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a intenção de compra dos pães convencionais em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

#### **4.3.4. Avaliação da vida de prateleira**

Vida de prateleira é um conceito complexo que é dependente da natureza do alimento sob consideração, as tecnologias de preservação aplicadas, e as condições ambientais às quais o produto está exposto (ESKIN; ROBINSON, 2001). O envelhecimento do pão é caracterizado por muitos fenômenos físicos e químicos, tais como mudanças na textura, migração de água, cristalização do amido e interações de componentes (CHINACHOTI; VODOVOTZ, 2001). Os resultados do acompanhamento da vida de prateleira dos pães estão apresentados nos itens seguintes.

##### **4.3.4.1. Umidade do miolo**

###### **4.3.4.1.1. Pães convencionais**

A avaliação da umidade do miolo dos pães convencionais, após um, quatro e sete dias do forneamento, conjuntamente com a matriz do planejamento experimental, estão apresentadas na Tabela 122. A redução em porcentagem dos valores após o quarto e o sétimo dia, em relação ao primeiro dia, também é apresentada.

Observa-se que os valores de umidade após o primeiro, quarto e sétimo dias do forneamento variaram de 41,98% a 45,78%, de 33,92% a 41,29% e de 31,63% a 38,71%, respectivamente, e estão de acordo com os valores encontrados na literatura.

Sidhu, Al-Hooti e Al-Saqer (1999) encontraram valores de umidade entre 41,18 e 42,80% para pães elaborados com a adição de 10 a 30% de farelo de trigo. Schwarzlaff *et al.* (1996) encontraram valores de umidade entre 44,26% e 44,81% para pães elaborados com 0 a 4% de LBG. Porém, Wang, Rosell e Barber

(2002) obtiveram 35,3% de umidade no miolo de pães elaborados com 3% de LBG.

Pão pertence à classe dos alimentos que possuem uma faixa intermediária de umidade. Ele possui níveis maiores de água em relação a todos os produtos forneados e é caracterizado por um alto conteúdo de umidade no miolo e um baixo conteúdo de umidade na crosta. A água exerce um papel de “lubrificação” quando o produto é mastigado e por causa disso o conteúdo de umidade tem um profundo efeito na percepção da qualidade, quer o produto seja fresco ou estocado. Dentro dos limites, quanto mais alto o conteúdo de umidade, maior frescor do pão é percebido pelo consumidor (CAUVAIN, 2003).

O valor mínimo dos intervalos de variação apresentados para os três dias de avaliação sempre ocorreu no ensaio 1, onde tem-se as três variáveis independentes no nível -1. O valor máximo da umidade do miolo no primeiro dia após o forneamento foi observado quando o maior nível de LBG foi empregado, ou seja, quando a maior porcentagem desta fonte de fibra alimentar, dentro da faixa estudada, foi utilizada na formulação dos pães convencionais (ensaio 14). Nos demais dias de observação, o valor máximo da umidade ocorreu no ensaio 08, onde todas as variáveis independentes estavam no nível +1.

Através dos resultados da Tabela 122, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para a umidade do miolo dos PC após um, quatro e sete dias do forneamento. Assim, as Tabelas 123, 124 e 125 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para a umidade do miolo dos PC.

**Tabela 122:** Umidade dos pães convencionais após um, quatro e sete dias do forneamento e a redução da umidade em relação ao primeiro dia após o forneamento.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Dia 1		Dia 4		Dia 7	
				Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Redução (%)	Umidade (%)	Redução (%)
1	-1	-1	-1	41,98 ± 0,34	33,92 ± 0,41	19,20	31,63 ± 0,49	24,65	
2	+1	-1	-1	43,40 ± 0,15	38,53 ± 0,38	11,22	35,90 ± 0,53	17,28	
3	-1	+1	-1	42,44 ± 0,11	36,58 ± 1,64	13,81	33,32 ± 0,18	21,49	
4	+1	+1	-1	43,81 ± 0,52	36,49 ± 1,29	16,71	36,00 ± 1,60	17,83	
5	-1	-1	+1	44,67 ± 0,24	37,39 ± 0,83	16,30	34,42 ± 0,96	22,95	
6	+1	-1	+1	44,50 ± 0,36	40,03 ± 0,74	10,04	37,73 ± 0,52	15,21	
7	-1	+1	+1	44,55 ± 0,15	39,72 ± 0,23	10,84	34,88 ± 0,19	21,71	
8	+1	+1	+1	45,29 ± 0,39	41,29 ± 1,31	8,83	38,71 ± 0,68	14,53	
9	-1,68	0	0	42,55 ± 1,12	35,19 ± 1,10	17,30	31,86 ± 0,28	25,12	
10	+1,68	0	0	44,76 ± 0,14	39,90 ± 0,20	10,86	37,59 ± 0,16	16,02	
11	0	-1,68	0	43,97 ± 0,23	38,82 ± 0,40	11,71	35,79 ± 0,77	18,60	
12	0	+1,68	0	43,84 ± 0,51	37,84 ± 0,49	13,69	34,82 ± 0,28	20,57	
13	0	0	-1,68	43,12 ± 0,18	36,98 ± 0,71	14,24	35,39 ± 0,90	17,93	
14	0	0	+1,68	45,78 ± 0,53	38,34 ± 0,47	16,25	36,27 ± 0,58	20,77	
15	0	0	0	43,27 ± 0,52	39,29 ± 0,14	9,20	35,50 ± 1,00	17,96	
16	0	0	0	45,68 ± 0,18	39,34 ± 0,87	13,88	37,43 ± 0,18	18,06	
17	0	0	0	43,78 ± 0,43	38,09 ± 0,49	13,00	34,41 ± 1,02	21,40	
18	0	0	0	44,19 ± 0,15	38,91 ± 0,91	11,95	35,01 ± 0,60	20,77	

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

\* média ± desvio padrão, n = 3.

**Tabela 123:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães convencionais após um dia do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (8)	p - valor
Média*	44,24	0,35	127,80	<0,0001
FT (L)*	0,52	0,19	2,76	0,0246
FT (Q)	-0,24	0,19	-1,22	0,2572
AR (L)	0,10	0,19	0,52	0,6200
AR (Q)	-0,15	0,19	-0,77	0,4653
LBG (L)*	0,87	0,19	4,63	0,0017
LBG (Q)	0,04	0,19	0,22	0,8301
FT x AR	0,11	0,25	0,44	0,6726
FT x LBG	-0,28	0,25	-1,13	0,2904
AR x LBG	-0,03	0,25	-0,10	0,9213

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 124:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães convencionais após quatro dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	38,90	0,29	134,83	<0,0001
FT (L)*	1,22	0,16	7,80	0,0044
FT (Q)	-0,44	0,16	-2,68	0,0750
AR (L)	0,19	0,16	1,20	0,3164
AR (Q)	-0,16	0,16	-0,97	0,4025
LBG (L)*	1,11	0,16	7,12	0,0057
LBG (Q)	-0,39	0,16	-2,43	0,0933
FT x AR*	-0,72	0,20	-3,53	0,0386
FT x LBG	-0,04	0,20	-0,19	0,8617
AR x LBG	0,37	0,20	1,82	0,1668

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 125:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães convencionais após sete dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (8)	p - valor
Média*	35,58	0,55	64,80	<0,0001
FT (L)*	1,74	0,30	5,84	0,0004
FT (Q)	-0,29	0,31	-0,95	0,3712
AR (L)	0,12	0,30	0,39	0,7044
AR (Q)	-0,09	0,31	-0,28	0,7835
LBG (L)*	0,76	0,30	2,55	0,0341
LBG (Q)	0,10	0,31	0,32	0,7601
FT x AR	-0,13	0,39	-0,34	0,7398
FT x LBG	0,02	0,39	0,06	0,9528
AR x LBG	-0,04	0,39	-0,11	0,9132

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabelas 123, 124 e 125), observa-se que os fatores que tiveram influência significativa na umidade do miolo dos pães convencionais após um dia do forneamento foram os mesmos que tiveram influência na umidade do miolo após quatro e sete dias de forneamento, excetuando-se o fator de interação do farelo de trigo com o amido resistente, que também foi significativo após quatro dias de forneamento. Os fatores lineares das fontes de fibra alimentar farelo de trigo e LBG foram estatisticamente significativos e tiveram efeito positivo na umidade do miolo ao longo de toda a vida de prateleira avaliada neste trabalho (sete dias).

As ANOVAs (Tabelas 126, 127 e 128) correspondentes aos modelos apresentaram uma variação explicada de 71,00%, 72,88% e 81,04%, respectivamente, para a umidade do miolo dos pães convencionais após um, quatro e sete dias do forneamento. No teste F, os valores calculados foram maiores do que os valores tabelados, a 95% de confiança.

**Tabela 126:** ANOVA para a resposta umidade dos pães convencionais após um dia do forneamento.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	13,96	2	6,98	18,36
resíduos	5,70	15	0,38	
falta de ajuste	2,47	12	0,21	
erro puro	3,23	3	1,08	
total	19,66	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7100;  $F_{2; 15; 0,05} = 3,68$

**Tabela 127:** ANOVA para a resposta umidade dos pães convencionais após quatro dias do forneamento.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	41,38	3	13,79	12,55
resíduos	15,39	14	1,10	
falta de ajuste	14,39	11	1,31	
erro puro	1,00	3	0,33	
total	56,77	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7288;  $F_{3; 14; 0,05} = 3,34$

**Tabela 128:** ANOVA para a resposta umidade dos pães convencionais após sete dias de forneamento.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	49,10	2	24,55	32,05
resíduos	11,49	15	0,77	
falta de ajuste	6,37	12	0,53	
erro puro	5,12	3	1,71	
total	60,59	17		

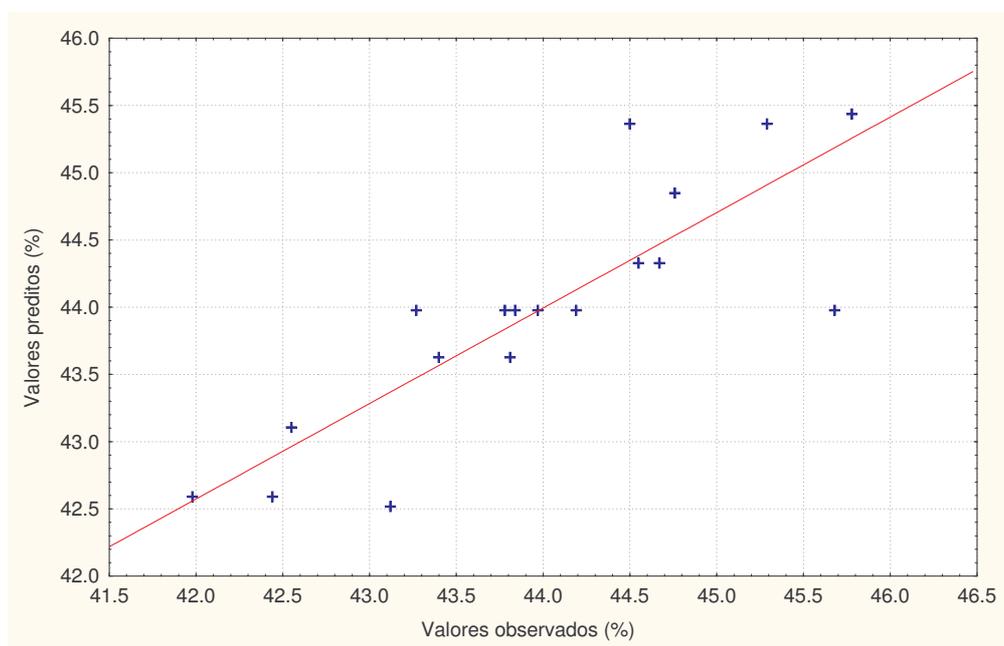
% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8104;  $F_{2; 15; 0,05} = 3,68$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs, pôde-se obter os modelos com as variáveis codificadas que descrevem o comportamento da umidade do miolo dos PC, após um, quatro e sete dias do forneamento, expressos nas Equações 36, 37 e 38. No Anexo FL podem ser verificados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Os modelos ajustados apresentam uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pelas Figuras 70, 71 e 72. Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno da umidade do miolo dos PC, apresentadas nas Figuras 73, 74 e 75.

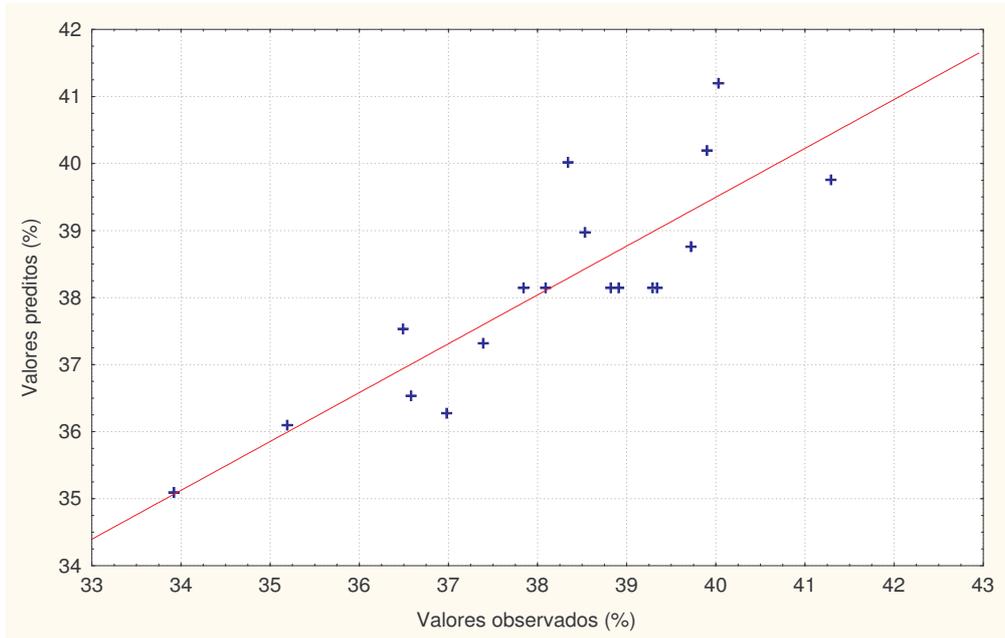
$$\text{Umidade dos PC após 1 dia} = 43,98 + 0,52 \text{ FT} + 0,87 \text{ LBG} \quad (36)$$

$$\text{Umidade dos PC após 4 dias} = 38,15 + 1,22 \text{ FT} + 1,11 \text{ LBG} - 0,72 \text{ FT AR} \quad (37)$$

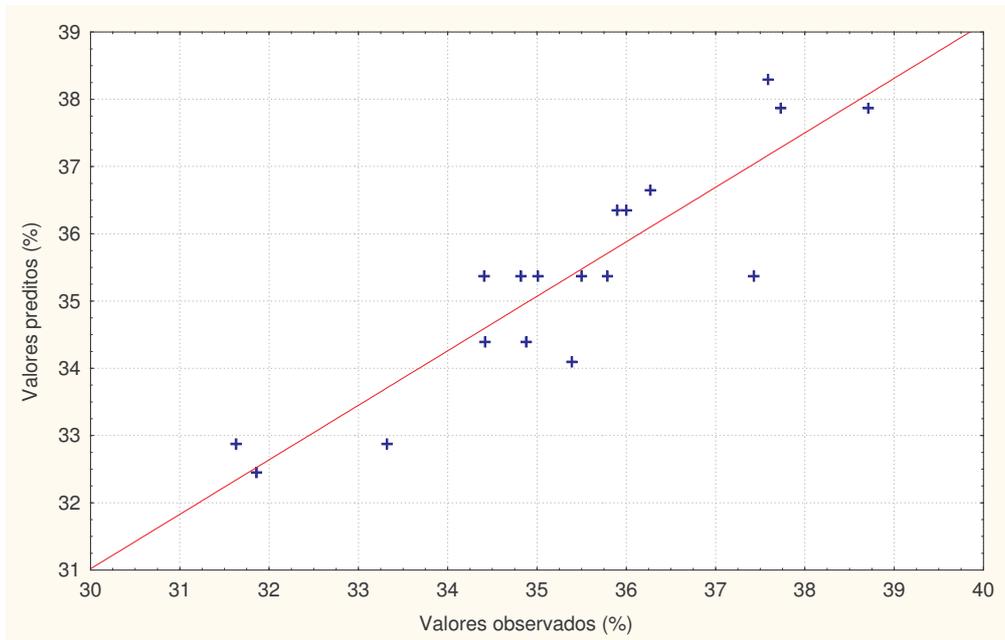
$$\text{Umidade dos PC após 7 dias} = 35,37 + 1,74 \text{ FT} + 0,76 \text{ LBG} \quad (38)$$



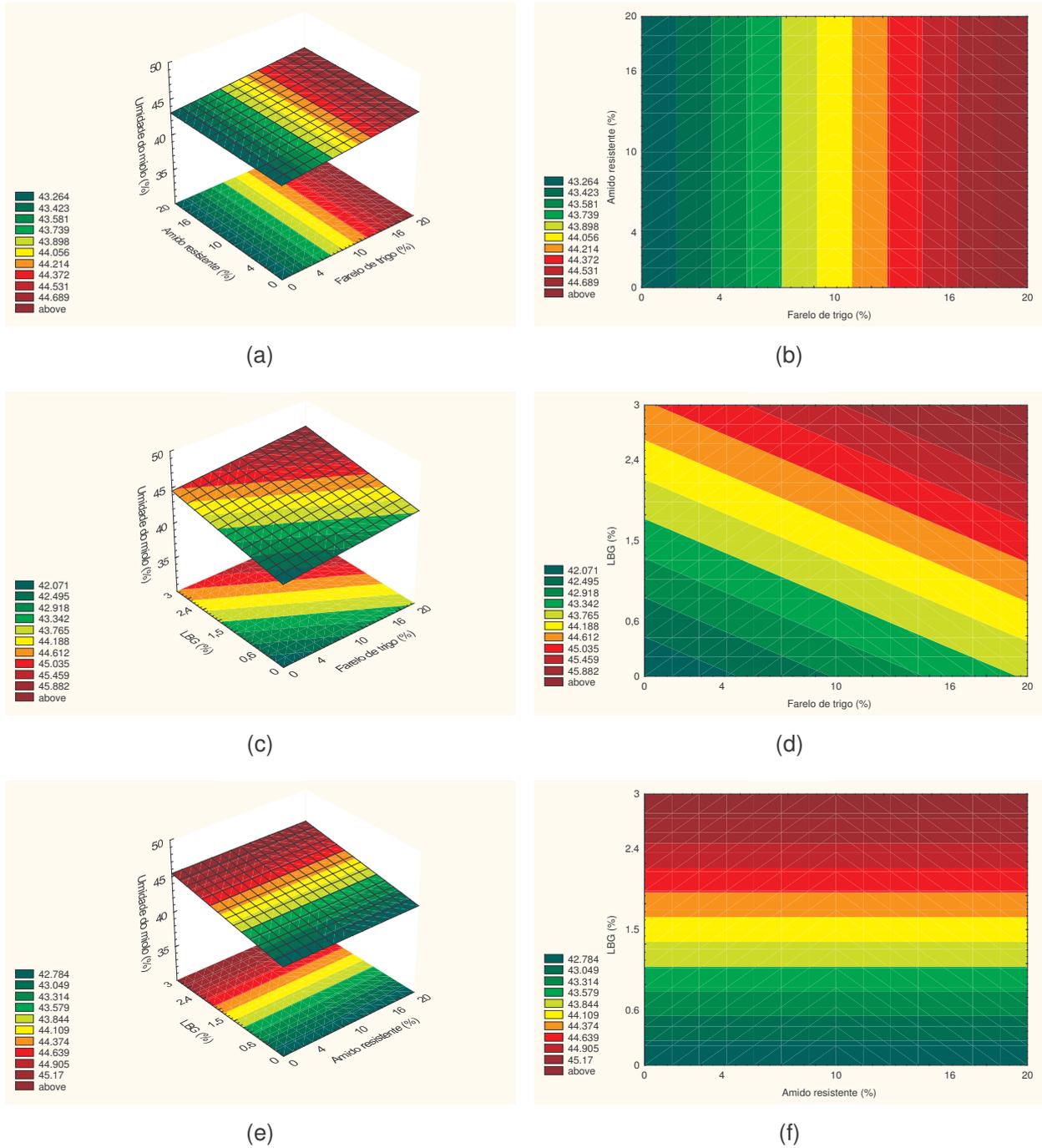
**Figura 70:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães convencionais após um dia do forneamento.



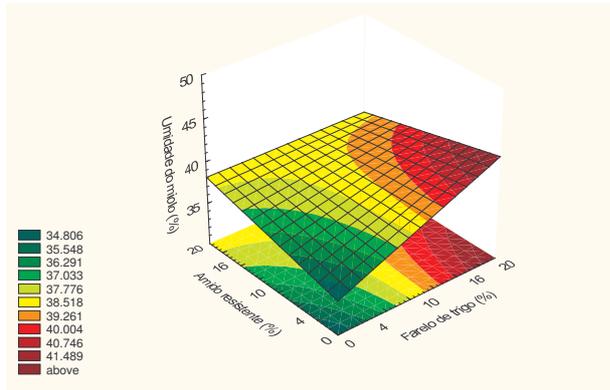
**Figura 71:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães convencionais após quatro dias do forneamento.



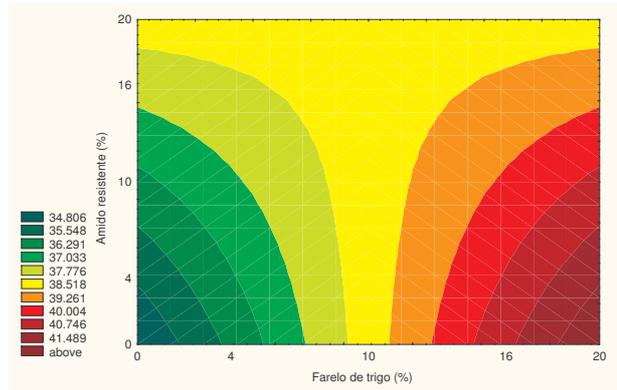
**Figura 72:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães convencionais após sete dias do forneamento.



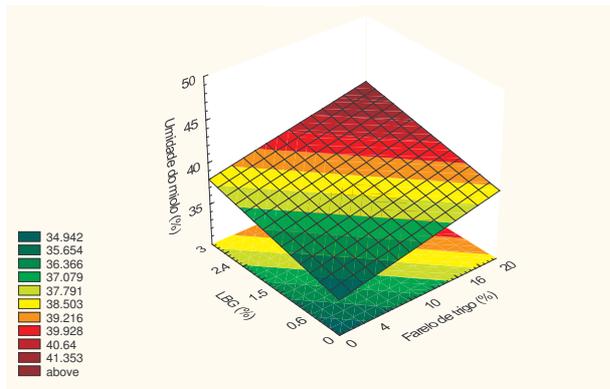
**Figura 73:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos pães convencionais após um dia do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



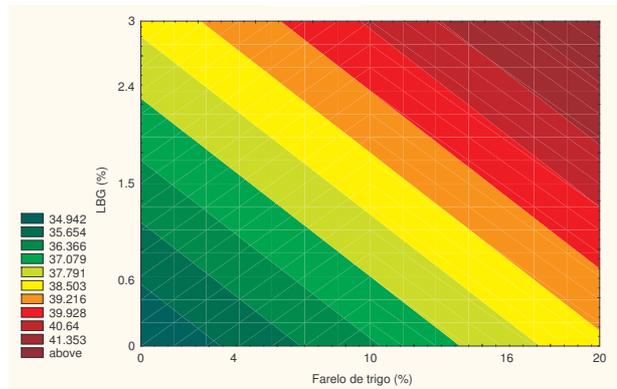
(a)



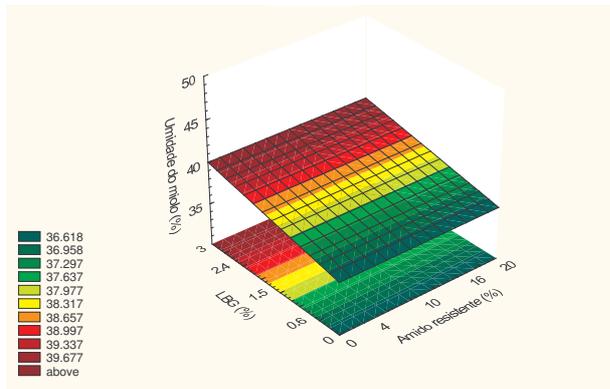
(b)



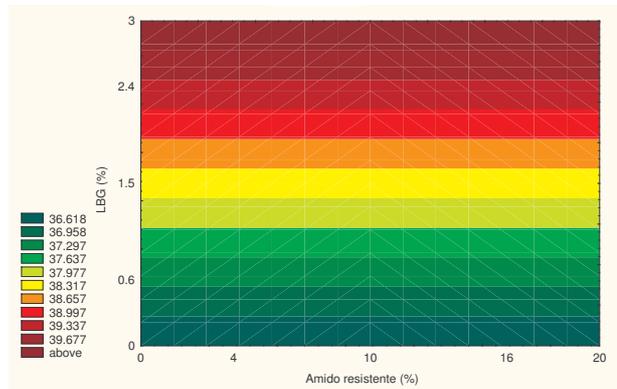
(c)



(d)

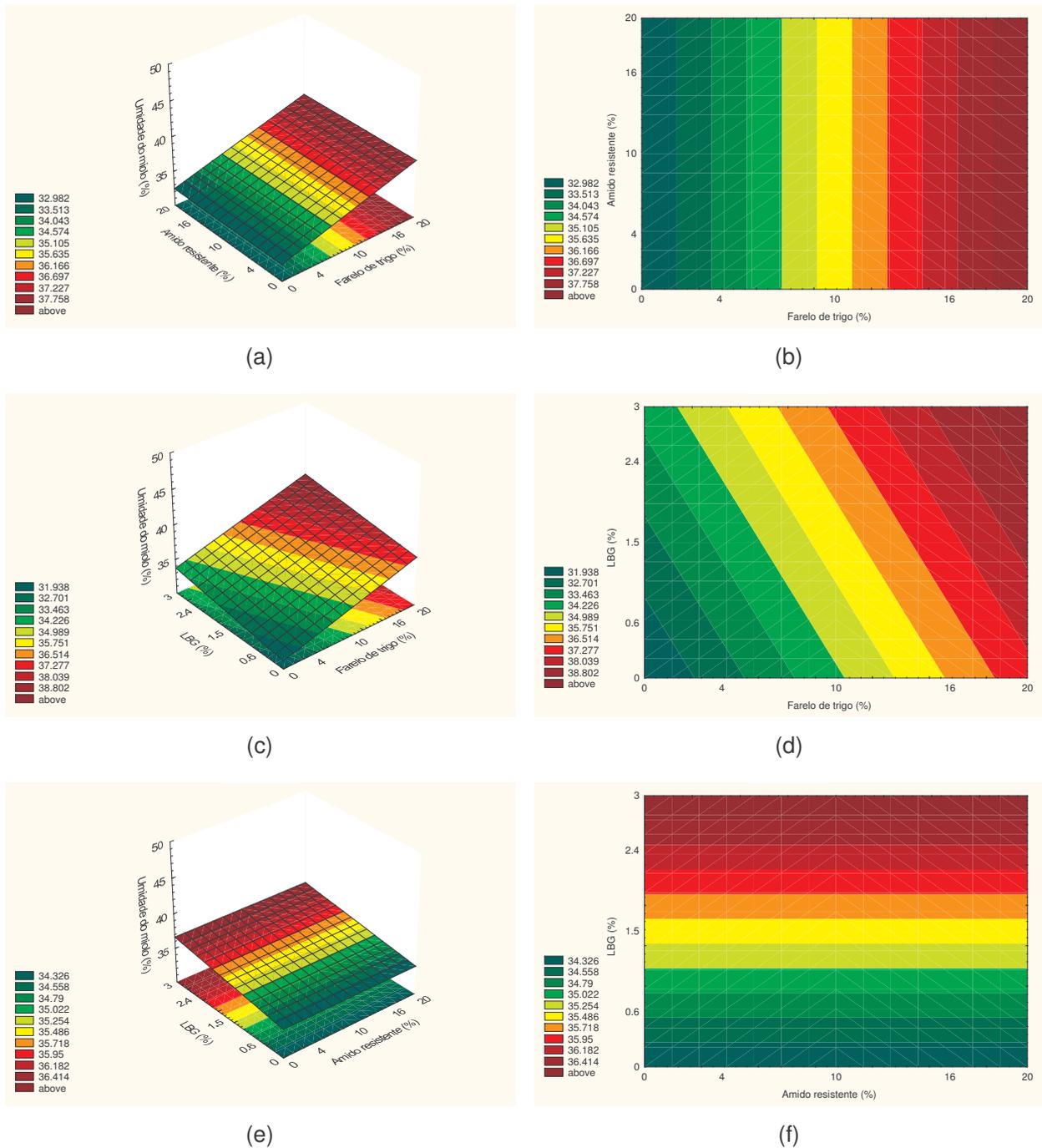


(e)



(f)

Figura 74: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos PC após quatro dias do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



**Figura 75:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos PC após sete dias do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Pelas superfícies de resposta e curvas de contorno mostradas nas Figuras 73, 74 e 75, percebe-se que as fibras influenciaram a umidade dos PC da mesma forma, ao longo da vida de prateleira. As superfícies referentes aos três dias de avaliação apresentaram comportamento muito semelhante, havendo praticamente, apenas um deslocamento ao longo do eixo Z (mostrando a redução da umidade ao longo do período de estocagem). O farelo de trigo e a LBG mostraram contribuir para a retenção de umidade do miolo dos PC. Dentro da faixa estudada, o miolo dos PC apresentou maior umidade quando a adição de farelo de trigo foi superior a 10% e a de LBG superior a 1,5%. O amido resistente não interferiu na umidade do miolo dos PC no início e no fim da vida de prateleira. No entanto, no quarto dia, esta fonte de fibra teve interação com o farelo de trigo e mostrou reter umidade somente em concentrações inferiores a 10%, quando concentrações acima de 10% de farelo de trigo estavam presentes.

Sidhu, Al-Hooti e Al-Saqer (1999) observaram que o conteúdo de umidade dos pães contendo farelo de trigo (10 a 30%) foi significativamente mais alto do que o dos pães sem adição de farelo. Estes autores também verificaram o aumento do conteúdo de umidade com o aumento da adição do farelo de trigo.

Wang, Rosell e Barber (2002) verificaram que a LBG, ao nível de 3%, proporcionou um aumento da umidade do miolo. No entanto, Schwarzlaff *et al.* (1996) constataram que o aumento do nível de LBG até 4% não afetou o conteúdo de umidade dos pães.

De acordo com Rosell, Rojas e Barber (2001), o conteúdo de umidade do miolo é aumentada pelos hidrocolóides, devido à bem conhecida capacidade de ligação de água destas substâncias. Estes autores encontraram que os hidrocolóides que apresentaram maior retenção de umidade foram os mesmos que apresentaram maior absorção de água farinográfica. Pães suplementados com LBG produzem massas com propriedades constantes e com características de maior ligação de água. Desta forma, o rendimento é melhorado e os produtos forneados permanecem leves e palatáveis por um longo período de tempo (HERALD, 1986).

No caso estudado, a umidade do miolo dos pães também pode ser relacionada com a absorção de água farinográfica. Miolos mais úmidos foram obtidos das massas com maiores absorções de água farinográfica (adição de farelo de trigo acima de 10% e de LBG acima de 1,5%). Além disso, os miolos com maior teor de água depois de um dia do forneamento foram os mesmos que apresentaram maior teor de água após sete dias do forneamento.

#### **4.3.4.1.2. Pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados**

A avaliação da umidade do miolo dos P32, após um, quatro e sete dias do forneamento, conjuntamente com a matriz do planejamento experimental, estão apresentadas na Tabela 129. A redução em porcentagem dos valores após o quarto e sétimo dias, em relação ao primeiro dia, também é apresentada.

Observa-se que os valores de umidade após o primeiro, quarto e sétimo dias de forneamento variaram de 44,01% a 48,80%, de 36,70% a 46,59% e de 30,79% a 41,42%, respectivamente.

É interessante notar que o valor máximo da umidade do miolo para os três dias avaliados foi observado quando o maior nível de LBG foi empregado, ou seja, quando a maior porcentagem desta fonte de fibra alimentar, dentro da faixa estudada, foi utilizada na formulação dos P32 (ensaio 14).

Tanto na umidade do miolo após um dia do forneamento dos PC, como dos P32, o menor valor observado foi no ensaio 01, onde todas as variáveis independentes estavam no nível -1.

**Tabela 129:** Umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um, quatro e sete dias do forneamento e a redução da umidade em relação ao primeiro dia após o forneamento.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Dia 1		Dia 4		Dia 7	
				Umidade (%)	Umidade (%)	Redução (%)	Umidade (%)	Redução (%)	
1	-1	-1	-1	44,01 ± 0,33	39,27 ± 0,75	10,77	35,56 ± 1,01	19,20	
2	+1	-1	-1	46,35 ± 0,95	37,21 ± 0,86	19,72	33,54 ± 0,91	27,64	
3	-1	+1	-1	44,51 ± 0,61	37,35 ± 2,69	16,09	30,79 ± 1,95	30,82	
4	+1	+1	-1	46,80 ± 0,20	42,68 ± 0,62	8,80	38,52 ± 0,36	17,69	
5	-1	-1	+1	46,69 ± 0,42	40,74 ± 1,01	12,74	35,86 ± 0,77	23,20	
6	+1	-1	+1	48,25 ± 0,35	46,13 ± 1,90	4,39	37,12 ± 1,17	23,07	
7	-1	+1	+1	47,63 ± 0,33	43,91 ± 0,43	7,81	37,58 ± 1,26	21,10	
8	+1	+1	+1	47,12 ± 0,44	44,78 ± 0,62	4,97	41,03 ± 0,79	12,92	
9	-1,68	0	0	44,32 ± 0,75	40,03 ± 0,95	9,68	37,41 ± 0,66	15,59	
10	+1,68	0	0	47,93 ± 0,28	44,37 ± 1,08	7,43	40,27 ± 0,75	15,98	
11	0	-1,68	0	46,96 ± 0,94	36,70 ± 0,69	21,85	36,02 ± 2,68	23,30	
12	0	+1,68	0	46,03 ± 0,82	40,55 ± 1,46	11,91	38,57 ± 0,88	16,21	
13	0	0	-1,68	45,21 ± 0,77	40,16 ± 0,54	11,17	35,46 ± 2,31	21,57	
14	0	0	+1,68	48,80 ± 0,17	46,59 ± 0,51	4,53	41,42 ± 0,67	15,12	
15	0	0	0	46,93 ± 0,41	43,03 ± 0,41	8,31	39,69 ± 1,35	15,43	
16	0	0	0	46,66 ± 0,73	42,28 ± 1,95	9,39	38,47 ± 1,61	17,55	
17	0	0	0	46,59 ± 0,22	42,16 ± 0,72	9,51	39,98 ± 0,97	14,19	
18	0	0	0	47,37 ± 0,18	44,46 ± 0,96	6,14	39,02 ± 0,73	17,63	

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Através dos resultados da Tabela 129, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para a umidade do miolo dos P32 após um, quatro e sete dias do forneamento. Assim, as Tabelas 130, 131 e 132 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para a umidade do miolo dos P32.

**Tabela 130:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	46,89	0,18	265,70	0,0000
FT (L)*	0,86	0,10	9,00	0,0029
FT (Q)	-0,29	0,10	-2,93	0,0609
AR (L)	-0,06	0,10	-0,62	0,5818
AR (Q)	-0,16	0,10	-1,62	0,2046
LBG (L)*	1,03	0,10	10,76	0,0017
LBG (Q)	0,02	0,10	0,20	0,8553
FT x AR	-0,27	0,12	-2,12	0,1241
FT x LBG*	-0,45	0,12	-3,58	0,0373
AR x LBG	-0,14	0,12	-1,14	0,3370

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 131:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	42,97	0,53	81,39	<0,0001
FT (L)*	1,23	0,29	4,31	0,0231
FT (Q)	-0,23	0,30	-0,78	0,4916
AR (L)	0,87	0,29	3,03	0,0563
AR (Q)*	-1,50	0,30	-5,03	0,0151
LBG (L)*	2,19	0,29	7,64	0,0047
LBG (Q)	0,18	0,30	0,62	0,5816
FT x AR	0,36	0,37	0,96	0,4081
FT x LBG	0,37	0,37	1,00	0,3912
AR x LBG	-0,22	0,37	-0,58	0,6036

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 132:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	39,38	0,34	116,24	<0,0001
FT (L)*	1,12	0,18	6,07	0,0090
FT (Q)	-0,57	0,19	-2,96	0,0595
AR (L)	0,74	0,18	4,04	0,0273
AR (Q)	-1,11	0,19	-5,82	0,0101
LBG (L)*	1,70	0,18	9,25	0,0027
LBG (Q)	-0,71	0,19	-3,70	0,0342
FT x AR	1,49	0,24	6,22	0,0084
FT x LBG*	-0,13	0,24	-0,52	0,6384
AR x LBG	0,68	0,24	2,82	0,0665

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabelas 130, 131 e 132), observamos que os fatores lineares do farelo de trigo e da LBG tiveram influência significativa na umidade do miolo dos P32 após um, quatro e sete dias do forneamento. Assim como ocorrido para a umidade do miolo dos PC ao longo da vida de prateleira, estes fatores tiveram efeito positivo na umidade do miolo dos P32 nos três dias avaliados.

No quarto dia após o forneamento, o menor valor de umidade observado foi no ensaio 11, que possuía o menor nível de amido resistente empregado, ou seja, quando a menor porcentagem desta fonte de fibra alimentar, dentro da faixa estudada, foi utilizada na formulação dos P32.

As ANOVAs (Tabelas 133, 134 e 135) correspondentes aos modelos apresentaram uma variação explicada de 86,94%, 75,90% e 77,43%, respectivamente, para a umidade do miolo dos P32 após um, quatro e sete dias do forneamento. No teste F, os valores calculados foram maiores do que os valores tabelados, a 95% de confiança.

**Tabela 133:** ANOVA para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	26,18	3	8,73	31,06
resíduos	3,93	14	0,28	
falta de ajuste	3,56	11	0,32	
erro puro	0,37	3	0,12	
total	30,12	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,8694;  $F_{3; 14; 0,05} = 3,34$

**Tabela 134:** ANOVA para a resposta umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	116,23	3	38,74	14,69
resíduos	36,91	14	2,64	
falta de ajuste	33,56	11	3,05	
erro puro	3,36	3	1,12	
total	153,14	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7590;  $F_{3; 14; 0,05} = 3,34$

**Tabela 135:** ANOVA para a resposta umidade dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.

Fontes de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
regressão	97,15	6	16,19	6,29
resíduos	28,31	11	2,57	
falta de ajuste	26,93	8	3,37	
erro puro	1,38	3	0,46	
total	125,46	17		

% variação explicada ( $r^2$ ) = 0,7743;  $F_{6; 11; 0,05} = 3,09$

Em vista dos resultados satisfatórios das ANOVAs, pôde-se obter os modelos com as variáveis codificadas que descrevem o comportamento da umidade do miolo dos P32, após um, quatro e sete dias do forneamento, expressos nas Equações 39, 40 e 41. No Anexo FM podem ser verificados os valores experimentais, os previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Os modelos ajustados apresentam uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pelas Figura 76, 77 e 78. Assim, foi possível construir as superfícies de resposta e curvas de contorno da umidade do miolo dos P32, apresentadas nas Figuras 79, 80 e 81.

Umidade dos P32

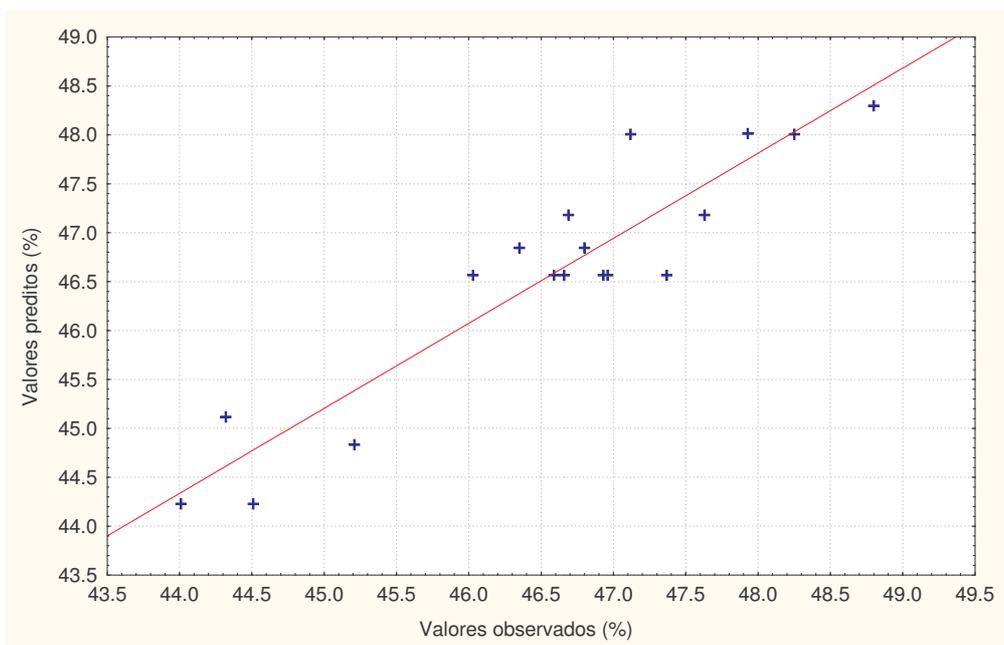
$$\text{após 1 dia} = 46,56 + 0,86 \text{ FT} + 1,03 \text{ LBG} - 0,45 \text{ FT LBG} \quad (39)$$

Umidade dos P32

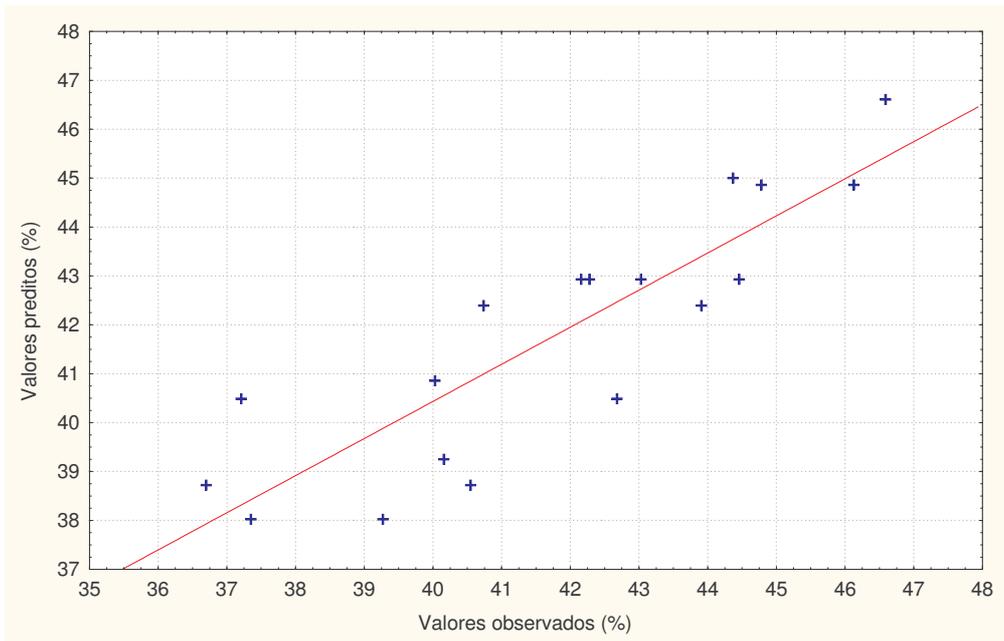
$$\text{após 4 dias} = 42,93 + 1,23 \text{ FT} - 1,49 \text{ AR}^2 + 2,19 \text{ LBG} \quad (40)$$

Umidade dos P32

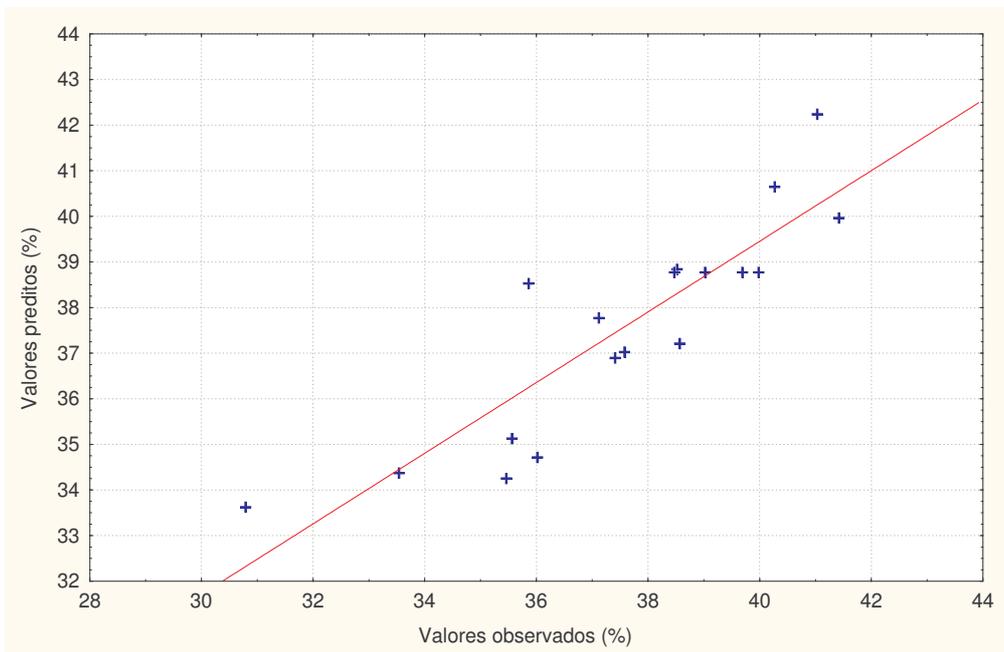
$$\begin{aligned} \text{após 7 dias} = & 38,77 + 1,12 \text{ FT} + 0,74 \text{ AR} - 0,99 \text{ AR}^2 + 1,70 \text{ LBG} - \\ & 0,59 \text{ LBG}^2 + 1,49 \text{ FT AR} \end{aligned} \quad (41)$$



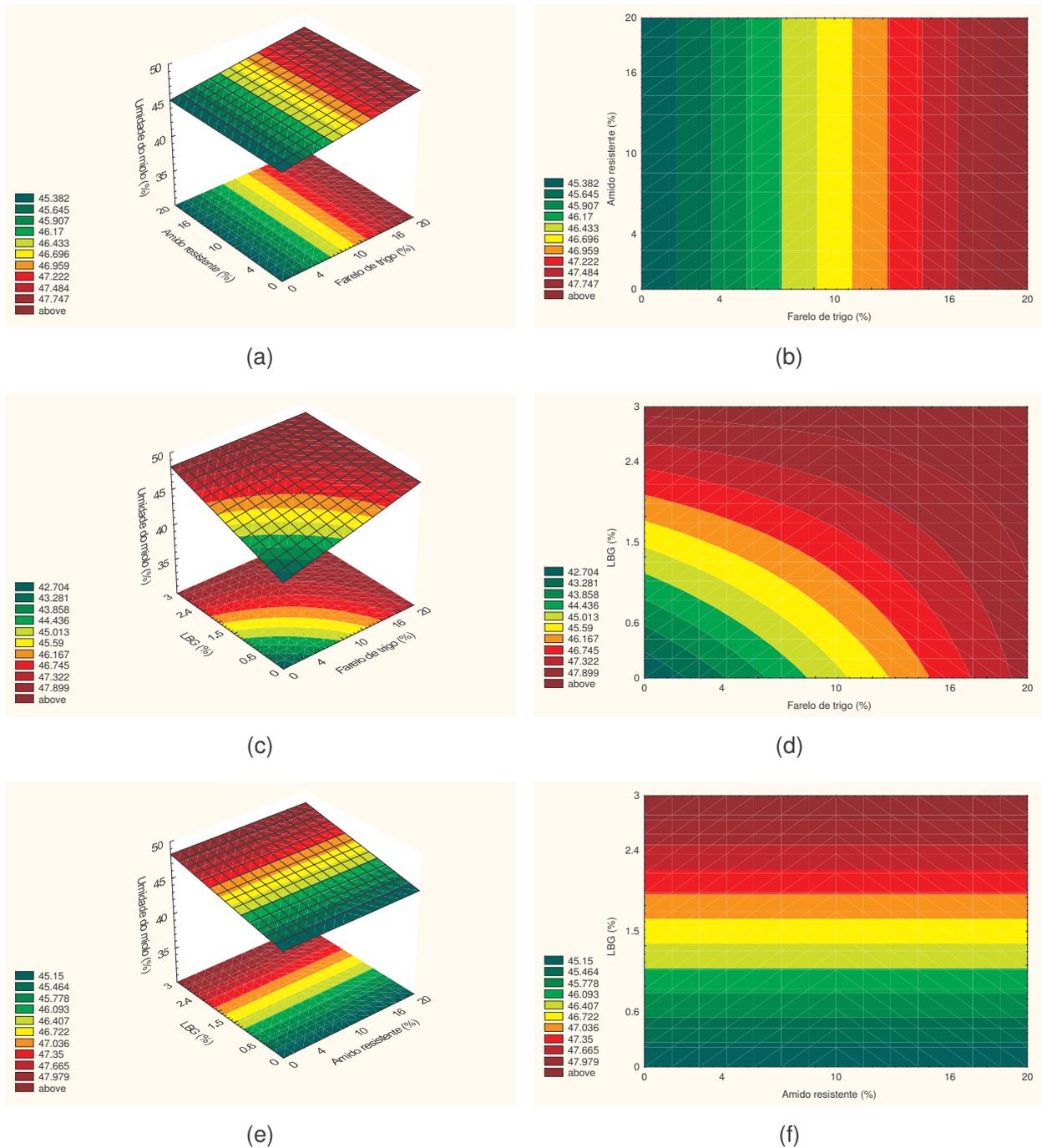
**Figura 76:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.



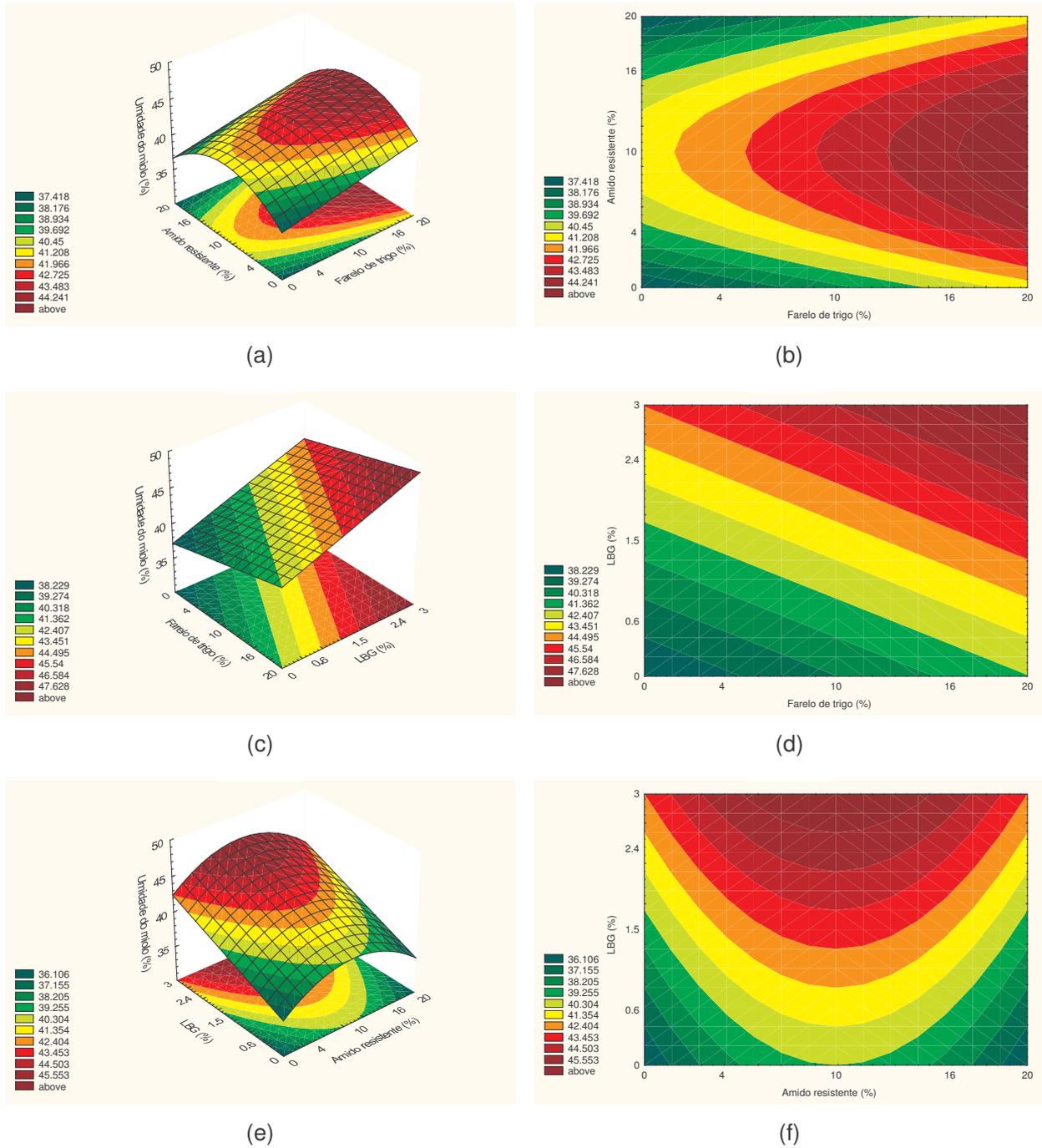
**Figura 77:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.



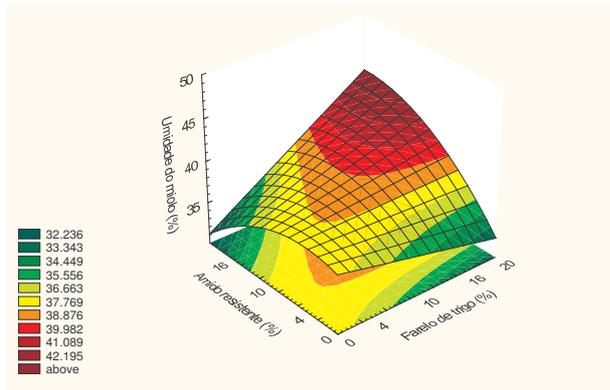
**Figura 78:** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.



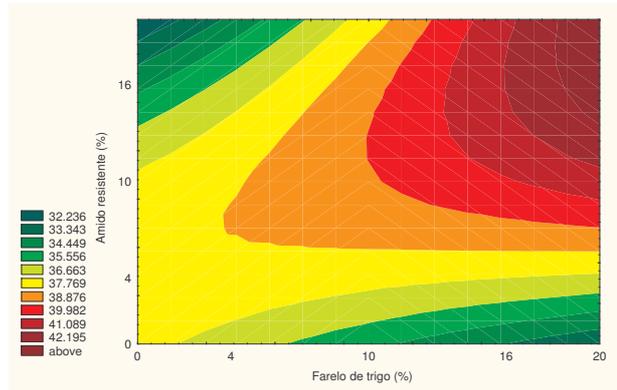
**Figura 79:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



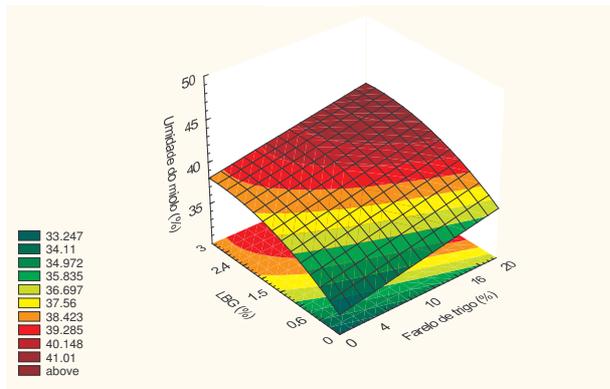
**Figura 80:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.



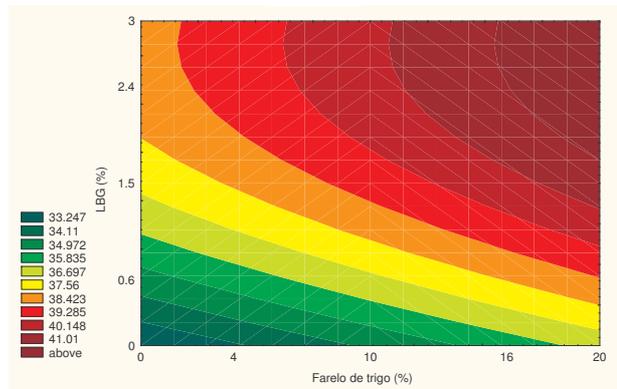
(a)



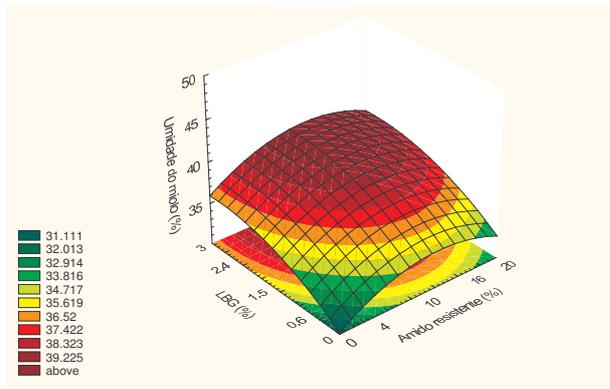
(b)



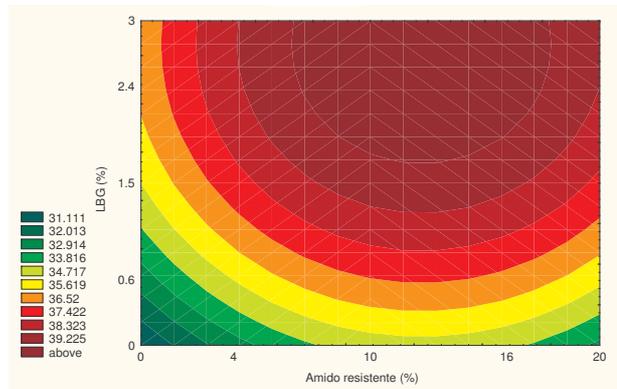
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 81:** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do miolo dos pães com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento em função: (a) e (b) do farelo de trigo e do amido resistente; (c) e (d) do farelo de trigo e da LBG e (e) e (f) do amido resistente e da LBG, estando a terceira variável fixada no nível 0.

Observando as superfícies de resposta e curvas de contorno, constata-se que, nos três dias avaliados, quanto maior a adição de farelo de trigo, maior foi o conteúdo de umidade. No entanto, o comportamento da umidade em função da adição de amido resistente e LBG sofreu mudança durante o período avaliado.

Inicialmente, o amido resistente não teve interferência na umidade do miolo dos P32, mas ao longo da vida de prateleira notou-se o surgimento de uma região de ótima retenção de umidade em uma faixa de combinações de amido resistente e LBG. No quarto dia, esta região localiza-se em concentrações de amido resistente entre 1 e 16% e de LBG acima de 2,4%. No sétimo dia, esta região torna-se maior e se estende a concentrações de LBG acima de 1,5%.

Acredita-se que a retrogradação do amido esteja envolvida no mecanismo de envelhecimento. O conteúdo de umidade do pão (35 - 40%) provê as condições ótimas para que isso ocorra (ZELEZNAK; HOSENEY, 1986). A recristalização da amilopectina é o parâmetro mais importante neste processo. No entanto, sabe-se que a amilose também pode estar envolvida. A presença de amilose influencia a recristalização da amilopectina, isto é, uma maior recristalização da amilopectina é quantificada na presença de amilose do que a quantificada somente na presença de amilopectina (CAUVAIN, 2003). O processo de envelhecimento do pão está relacionado a uma perda de umidade que poderia ser devido à interação dos polímeros que constituem o amido.

Logo, com o passar do tempo, durante a vida de prateleira, o amido resistente e a LBG poderiam ligar-se a parte desta água que é liberada pelo processo de retrogradação do amido. No envelhecimento do pão, alguma redistribuição da água poderia ocorrer de um componente para outro no miolo (CHINACHOTI; VODOVOTZ, 2001). O farelo de trigo possivelmente não estaria envolvido neste processo, devido a já ter água suficientemente ligada à sua estrutura.

No entanto, a LBG poderia influenciar a retenção de umidade por um outro mecanismo. O efeito de estabilização dos hidrocolóides na retrogradação do amido resulta das interações deles cooperativamente com a água, bem como com

as cadeias de amido na mistura (LEE *et al.*, 2002). As galactomananas poderiam inibir o processo de agregação da amilose e amilopectina, por agir como uma barreira física prevenindo uma auto-associação destes polímeros ou por associar-se com cadeias agregadas de amilose (e talvez também de amilopectina) (AHMAD; WILLIAMS, 2001).

Gujral, Haros e Rosell (2004) verificaram que a LBG não retardou a retrogradação de géis de amido em concentrações de 0,25 e 0,5%. No entanto, Schwarzlaff *et al.* (1996) verificaram que os pães que foram produzidos com farinhas substituídas em 2 e 4% por LBG apresentaram menor retrogradação da amilopectina, sendo que a 2%, a LBG teve um melhor efeito no retardamento do envelhecimento do pão.

#### **4.3.4.1.3. Pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados**

A avaliação da umidade do miolo dos P62, após um, quatro e sete dias do forneamento, conjuntamente com a matriz do planejamento experimental, estão apresentadas na Tabela 136. A redução em porcentagem dos valores após o quarto e sétimo dias, em relação ao primeiro dia, também é apresentada.

Observa-se que os valores de umidade após o primeiro, quarto e sétimo dias do forneamento variaram de 42,25% a 47,64%, de 24,52% a 43,79% e de 22,86% a 38,64%, respectivamente.

Através dos resultados da Tabela 136, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem para a umidade do miolo dos P62 após um, quatro e sete dias do forneamento. Assim, as Tabelas 137, 138 e 139 apresentam os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para a umidade do miolo dos P62.

**Tabela 136:** Umidade do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um, quatro e sete dias do forneamento e a redução da umidade em relação ao primeiro dia após o forneamento.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Dia 1		Dia 4		Dia 7	
				Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Redução (%)	Umidade (%)	Redução (%)
1	-1	-1	-1	42,25 ± 0,61	35,43 ± 0,37	16,14	33,17 ± 1,25	21,49	
2	+1	-1	-1	45,76 ± 0,31	33,31 ± 1,28	27,21	30,74 ± 1,84	32,82	
3	-1	+1	-1	45,17 ± 1,47	24,52 ± 8,80	45,72	22,86 ± 2,98	49,39	
4	+1	+1	-1	46,12 ± 0,18	39,56 ± 1,27	14,22	38,17 ± 1,02	17,24	
5	-1	-1	+1	45,50 ± 0,25	38,35 ± 1,77	15,71	38,13 ± 1,18	16,20	
6	+1	-1	+1	47,00 ± 0,92	42,17 ± 0,27	10,28	38,64 ± 0,20	17,79	
7	-1	+1	+1	45,44 ± 1,14	37,04 ± 1,17	18,49	32,33 ± 0,85	28,85	
8	+1	+1	+1	47,19 ± 0,33	43,79 ± 0,56	7,20	37,92 ± 0,71	19,64	
9	-1,68	0	0	43,97 ± 0,52	38,69 ± 0,77	12,01	32,12 ± 2,23	26,95	
10	+1,68	0	0	45,87 ± 0,78	41,25 ± 0,82	10,07	38,25 ± 1,39	16,61	
11	0	-1,68	0	45,31 ± 1,15	37,40 ± 0,70	17,46	30,55 ± 2,59	32,58	
12	0	+1,68	0	46,42 ± 0,31	40,45 ± 2,11	12,86	38,55 ± 0,70	16,95	
13	0	0	-1,68	45,83 ± 0,52	41,55 ± 0,86	9,34	34,45 ± 0,97	24,83	
14	0	0	+1,68	47,64 ± 1,00	40,12 ± 1,20	15,79	36,59 ± 1,84	23,19	
15	0	0	0	45,89 ± 0,45	39,31 ± 1,35	14,34	36,38 ± 0,62	20,72	
16	0	0	0	44,67 ± 0,46	37,37 ± 1,29	16,34	34,78 ± 2,63	22,14	
17	0	0	0	43,90 ± 0,35	33,38 ± 0,60	23,96	32,53 ± 0,82	25,90	
18	0	0	0	46,47 ± 0,46	40,80 ± 0,75	12,20	38,33 ± 0,33	17,52	

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

\* média ± desvio padrão, n = 3.

**Tabela 137:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	45,25	0,58	77,95	<0,0001
FT (L)	0,80	0,31	2,54	0,0848
FT (Q)	-0,18	0,33	-0,55	0,6194
AR (L)	0,39	0,31	1,23	0,3070
AR (Q)	0,15	0,33	0,47	0,6704
LBG (L)	0,65	0,31	2,07	0,1308
LBG (Q)	0,46	0,33	1,41	0,2531
FT x AR	-0,29	0,41	-0,70	0,5330
FT x LBG	-0,15	0,41	-0,37	0,7373
AR x LBG	-0,39	0,41	-0,96	0,4088

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 138:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	37,87	1,60	23,61	0,0002
FT (L)*	2,04	0,87	2,34	0,1011
FT (Q)	0,09	0,90	0,10	0,9279
AR (L)	0,06	0,87	0,07	0,9518
AR (Q)	-0,28	0,90	-0,31	0,7764
LBG (L)*	1,91	0,87	2,20	0,1152
LBG (Q)	0,39	0,90	0,44	0,6918
FT x AR	2,51	1,14	2,21	0,1140
FT x LBG*	-0,29	1,14	-0,26	0,8127
AR x LBG	0,62	1,14	0,55	0,6225

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 139:** Coeficientes de regressão para a resposta umidade do miolo dos pães com 62 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (8)	p - valor
Média*	35,56	1,76	20,19	<0,0001
FT (L)	2,14	0,95	2,25	0,0549
FT (Q)	-0,34	0,99	-0,35	0,7380
AR (L)	0,30	0,95	0,31	0,7638
AR (Q)	-0,57	0,99	-0,57	0,5825
LBG (L)	1,88	0,95	1,97	0,0844
LBG (Q)	-0,23	0,99	-0,23	0,8261
FT x AR	2,85	1,25	2,29	0,0515
FT x LBG	-0,85	1,25	-0,68	0,5160
AR x LBG	-0,46	1,25	-0,36	0,7247

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabelas 137, 138 e 139), observamos que nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para a umidade do miolo dos P62 ao longo da vida de prateleira, não sendo possível estabelecer modelos para a umidade dos P62 ao longo da vida de prateleira em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Isto indica que independentemente das quantidades adicionadas de farelo de trigo, amido resistente e LBG, a umidade do miolo dos P62 nos três dias avaliados ficou dentro do intervalo do valor médio e seu erro padrão.

Matuda *et al.* (2005) e Bárcenas, Benedito e Rosell (2004) encontraram valores de umidade entre 43,01% e 43,93% e entre 35,33% e 36,50% para o miolo de pães pré-assados reassados, os quais foram armazenados congelados e, Leuschener, O'Callaghan e Arendt (1999) encontraram valores de umidade entre

45% e 50% para o miolo de pães pré-assados reassados que foram armazenados em atmosfera modificada.

A Tabela 140 apresenta a média da umidade do miolo ao longo da vida de prateleira dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 140:** Média da umidade do miolo ao longo da vida de prateleira dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Umidade (%)	PC	P32	P62
Dia 1	43,98 <sup>c</sup> ± 1,08	45,56 <sup>a</sup> ± 1,33	45,58 <sup>b</sup> ± 1,30
Dia 4	38,15 <sup>b</sup> ± 1,83	41,80 <sup>a</sup> ± 3,00	38,03 <sup>b</sup> ± 4,41
Dia 7	35,37 <sup>b</sup> ± 1,89	37,57 <sup>a</sup> ± 2,72	34,69 <sup>b</sup> ± 4,12

PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 18. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Observando os valores apresentados na Tabela 140, verifica-se que os P32 apresentaram maior umidade em relação aos PC e aos P62, durante toda a vida de prateleira. No entanto, os pães pré-assados reassados, mesmo com um maior tempo de estocagem congelada (62 dias), não apresentaram teor de umidade inferior aos PC.

Bárcenas, Benedito e Rosell (2004) verificaram uma redução do conteúdo de umidade dos pães pré-assados reassados com o período de estocagem congelada (entre 7 e 42 dias).

Carr e Tadini (2003) verificaram que a umidade do miolo dos pães pré-assados reassados, os quais foram estocados congelados, foi maior do que a dos

pães assados convencionalmente. Estes autores explicaram que este fato ocorreu devido ao vapor no processo de assamento ter sido aplicado duas vezes, aumentando a quantidade de água no produto.

Neste trabalho, apesar de se ter aplicado o vapor também duas vezes, pode-se verificar que um maior ou igual conteúdo de umidade foi apresentado pelos pães pré-assados, não somente no primeiro dia após o forneamento, mas durante toda a vida de prateleira. Isto mostra que a água está de alguma forma “aprisionada” no miolo e que provavelmente as fibras estão envolvidas neste processo.

#### **4.3.4.2. Análise do perfil de textura**

As propriedades de textura são de importância suprema na elucidação de mudanças macroscópicas em termos quantitativos (CHINACHOTI; VODOVOTZ, 2001). Os resultados obtidos na análise do perfil de textura de todos os pães ao longo da vida de prateleira encontram-se nos Anexos EA - EI. Nos itens seguintes, encontra-se a discussão da dureza dos pães ao longo da vida de prateleira.

##### **4.3.4.2.1. Pães convencionais**

A Tabela 141 apresenta os valores do atributo dureza obtidos na análise de perfil de textura dos PC, após um, quatro e sete dias do forneamento, conjuntamente com a matriz do planejamento experimental. O aumento em porcentagem dos valores após o quarto e sétimo dias, em relação ao primeiro dia, também é apresentado.

Observa-se que os valores de dureza após o primeiro, quarto e sétimo dias do forneamento variaram de 2508,40 a 5158,77 gf, de 3221,08 a 6874,98 gf e de 4786,74 a 7339,91 gf, respectivamente.

**Tabela 141:** Dureza dos pães convencionais após um, quatro e sete dias do forneamento e o aumento da dureza em relação ao primeiro dia após o forneamento.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Dia 1		Dia 4		Dia 7	
				Dureza (gf)	Dureza (gf)	Aumento (%)	Dureza (gf)	Aumento (%)	
1	-1	-1	-1	3750,70 ± 256,86	5099,01 ± 444,59	35,95	6134,78 ± 440,79	63,56	
2	+1	-1	-1	5131,87 ± 338,99	6766,24 ± 459,25	31,85	7339,91 ± 330,70	43,03	
3	-1	+1	-1	3369,30 ± 73,94	3880,78 ± 294,35	15,18	5672,61 ± 365,11	68,36	
4	+1	+1	-1	5158,77 ± 420,64	6874,98 ± 169,61	33,27	6644,18 ± 229,03	28,79	
5	-1	-1	+1	2508,40 ± 84,94	3078,02 ± 158,62	22,71	4932,13 ± 332,03	96,62	
6	+1	-1	+1	4030,21 ± 179,79	4068,23 ± 245,65	0,94	4786,74 ± 237,98	18,77	
7	-1	+1	+1	3379,93 ± 241,82	3670,55 ± 154,74	8,60	5358,26 ± 396,30	58,53	
8	+1	+1	+1	4618,63 ± 236,18	6241,61 ± 241,55	35,14	6766,86 ± 312,30	46,51	
9	-1,68	0	0	2662,70 ± 132,61	3221,08 ± 106,10	20,97	5255,19 ± 297,63	97,36	
10	+1,68	0	0	4182,07 ± 392,37	5498,31 ± 359,85	31,47	5815,08 ± 332,41	39,05	
11	0	-1,68	0	3904,15 ± 431,27	5120,42 ± 703,26	31,15	5279,08 ± 318,81	35,22	
12	0	+1,68	0	3419,23 ± 228,25	4156,86 ± 226,10	21,57	5691,57 ± 300,02	66,46	
13	0	0	-1,68	4754,23 ± 283,06	6283,79 ± 189,23	32,17	6734,73 ± 448,64	41,66	
14	0	0	+1,68	3675,57 ± 396,25	4576,06 ± 253,47	24,50	4899,40 ± 245,13	33,30	
15	0	0	0	4977,16 ± 345,49	5614,45 ± 229,90	12,80	6001,56 ± 353,51	20,58	
16	0	0	0	3264,11 ± 306,47	4256,18 ± 371,26	30,39	4874,17 ± 126,67	49,33	
17	0	0	0	2791,30 ± 184,53	3222,05 ± 138,48	15,43	4971,71 ± 411,16	78,11	
18	0	0	0	4551,15 ± 598,05	5871,79 ± 146,49	29,02	6257,93 ± 468,24	37,50	

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

\* média ± desvio padrão, n = 3.

Não foi possível estabelecer modelos para a resposta dureza dos PC ao longo da vida de prateleira em função das três fontes de fibra alimentar estudadas. Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos PC nos três dias avaliados. As Tabelas 142, 143 e 144 confirmam esta avaliação. Isto indica que independentemente das quantidades adicionadas de farelo de trigo, amido resistente e LBG, a dureza dos PC nos três dias avaliados ficou dentro do intervalo do valor médio e seu erro padrão.

**Tabela 142:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães convencionais após um dia do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	3884,56	517,07	7,51	0,0049
FT (L)	621,40	280,25	2,22	0,1133
FT (Q)	-116,54	291,20	-0,40	0,7158
AR (L)	21,23	280,25	0,08	0,9444
AR (Q)	-31,93	291,20	-0,11	0,9196
LBG (L)	-343,24	280,25	-1,22	0,3081
LBG (Q)	163,66	291,20	0,56	0,6134
FT x AR	15,65	366,16	0,04	0,9686
FT x LBG	-51,27	366,16	-0,14	0,8975
AR x LBG	226,81	366,16	0,62	0,5795

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 143:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães convencionais após quatro dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	4734,04	617,14	7,67	0,0046
FT (L)	882,53	334,49	2,64	0,0778
FT (Q)	-103,16	347,56	-0,30	0,7860
AR (L)	2,63	334,49	0,01	0,9942
AR (Q)	-4,54	347,56	-0,01	0,9904
LBG (L)	-617,61	334,49	-1,85	0,1620
LBG (Q)	275,22	347,56	0,79	0,4863
FT x AR	363,48	437,03	0,83	0,4666
FT x LBG	-137,52	437,03	-0,31	0,7736
AR x LBG	484,42	437,03	1,11	0,3485

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 144:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães convencionais após sete dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	5510,05	352,33	15,64	0,0006
FT (L)	320,83	190,96	1,68	0,1915
FT (Q)	76,01	198,42	0,38	0,7272
AR (L)	142,20	190,96	0,74	0,5105
AR (Q)	58,40	198,42	0,29	0,7877
LBG (L)	-515,06	190,96	-2,70	0,0740
LBG (Q)	175,69	198,42	0,89	0,4411
FT x AR	165,05	249,50	0,66	0,5555
FT x LBG	-114,19	249,50	-0,46	0,6783
AR x LBG	445,52	249,50	1,79	0,1721

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Gómez *et al.* (2003) encontraram que o miolo dos pães com fibra apresentou-se mais firme que o do pão controle, o que é provavelmente devido ao efeito de espessamento das paredes que circundam as bolhas de ar do miolo. No entanto, a firmeza do miolo dos pães suplementados com fibras tendeu a ser menor em relação ao pão controle, durante todo o período de estocagem (três dias), sendo bastante notável o retardamento da dureza do pão quando a adição da fibra foi aumentada de 2% para 5%. Este efeito está relacionado à bem conhecida capacidade de ligação de água da fibra que evita a perda de água durante a estocagem e, também, a possíveis interações entre fibras e amido, que atrasariam a retrogradação do amido (GÓMEZ *et al.*, 2003).

De acordo com Gan *et al.* (1992), na expansão da massa, o farelo de trigo parece romper a matriz do glúten-amido e também restringe e força as células de gás a expandirem em uma direção específica. Isto distorce a estrutura da célula de gás e pode contribuir para a morfologia resultante do miolo (isto é, forma, tamanho e distribuição das células de gás), que é um elemento importante da textura do miolo.

Al-Saqer, Sidhu e Al-Hooti (2000) verificaram que uma maior força de compressão foi registrada nos testes com os pães, à medida que o nível de adição de farelo de trigo foi aumentado até 30%.

Van-Hung e Morita (2004) observaram que o aumento da quantidade de amido de milho quimicamente modificado (amido resistente) foi acompanhado com um aumento da firmeza do miolo dos pães.

Eerlingen *et al.* (1994) verificaram que a adição de 20% (base farinha) de amido de milho de alto teor de amilose (75%) diminuiu a firmeza do miolo dos pães estocados por sete dias. De acordo com estes autores, o aumento do conteúdo de amido resistente nos pães não implicou em aumento da firmeza.

De acordo com Schwarzlaff *et al.* (1996), a firmeza dos pães produzidos com 2 e 4% de LBG não apresentou diferença em relação à firmeza do pão sem adição de goma. No entanto, miolo com menor dureza foi obtido pela adição de 3% de LBG em trabalho realizado por Wang, Rosell e Barber (2002). Rosell, Rojas

e Barber (2001) verificaram que alguns hidrocolóides podem provocar um grande aumento da firmeza do miolo, provavelmente devido ao espessamento das paredes do miolo que circundam os espaços de ar.

#### **4.3.4.2.2. Pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados**

A Tabela 145 apresenta os valores do atributo dureza obtidos na análise de perfil de textura dos P32, após um, quatro e sete dias do forneamento, conjuntamente com a matriz do planejamento experimental. O aumento em porcentagem dos valores após o quarto e sétimo dias, em relação ao primeiro dia, também é apresentado.

Observa-se que os valores de dureza após o primeiro, quarto e sétimo dias do forneamento variaram de 4237,51 a 9286,98 gf, de 4800,24 a 8778,69 gf e de 5368,66 a 9651,54 gf, respectivamente.

**Tabela 145:** Dureza dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um, quatro e sete dias do forneamento e o aumento da dureza em relação ao primeiro dia após o forneamento.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Dia 1		Dia 4		Dia 7	
				Dureza (gf)	Dureza (gf)	Aumento (%)	Dureza (gf)	Aumento (%)	
1	-1	-1	-1	4836,44 ± 309,39	6164,55 ± 385,89	27,46	7017,46 ± 1170,71	45,10	
2	+1	-1	-1	9286,98 ± 3140,92	8618,16 ± 1507,71	-7,20	9333,36 ± 824,19	0,50	
3	-1	+1	-1	6207,17 ± 501,56	8778,69 ± 1683,39	41,43	9651,54 ± 634,62	55,49	
4	+1	+1	-1	6130,15 ± 295,19	5813,15 ± 370,79	-5,17	6007,67 ± 421,06	-2,00	
5	-1	-1	+1	8807,71 ± 827,29	7446,51 ± 1152,67	-15,45	6528,85 ± 579,71	-25,87	
6	+1	-1	+1	5001,51 ± 528,90	5662,49 ± 393,69	13,22	6823,65 ± 581,00	36,43	
7	-1	+1	+1	4898,37 ± 309,80	5852,03 ± 395,72	19,47	6467,71 ± 1233,88	32,04	
8	+1	+1	+1	4237,51 ± 262,14	4800,24 ± 449,02	13,28	5718,35 ± 97,38	34,95	
9	-1,68	0	0	4561,57 ± 482,63	5788,53 ± 377,24	26,90	6104,10 ± 550,78	33,82	
10	+1,68	0	0	5879,91 ± 326,80	5975,61 ± 605,91	1,63	5368,66 ± 495,77	-8,69	
11	0	-1,68	0	7047,28 ± 615,91	7300,02 ± 842,46	3,59	7139,90 ± 1424,59	1,31	
12	0	+1,68	0	7264,10 ± 1623,92	6311,88 ± 414,82	-13,11	6276,83 ± 349,99	-13,59	
13	0	0	-1,68	4694,78 ± 362,22	5267,00 ± 560,58	12,19	6563,70 ± 485,06	39,81	
14	0	0	+1,68	4317,80 ± 653,44	4845,77 ± 491,47	12,23	5959,25 ± 825,76	38,02	
15	0	0	0	5310,55 ± 851,19	6334,19 ± 726,98	19,28	6586,45 ± 604,87	24,03	
16	0	0	0	4796,79 ± 280,38	5332,43 ± 252,29	11,17	6755,77 ± 395,10	40,84	
17	0	0	0	3925,99 ± 293,62	4841,20 ± 207,98	23,31	6143,66 ± 244,34	56,49	
18	0	0	0	4339,97 ± 275,33	5632,43 ± 332,61	29,78	5667,59 ± 546,53	30,59	

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

\* média ± desvio padrão, n = 3..

Através dos resultados da dureza apresentados na Tabela 145, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2ª ordem. Apesar de alguns fatores serem significativos ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos P32 nos três dias avaliados (Tabelas 146, 147 e 148), nenhum modelo pode ser obtido para a dureza dos P32 ao longo da vida de prateleira em função das três fontes de fibra alimentar estudadas, já que os coeficientes de determinação foram muito baixos e os resíduos muito altos.

**Tabela 146:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	4569,84	297,52	15,36	0,0006
FT (L)	155,50	161,25	0,96	0,4060
FT (Q)	326,93	167,55	1,95	0,1461
AR (L)	-446,28	161,25	-2,77	0,0697
AR (Q)*	1011,04	167,55	6,03	0,0091
LBG (L)	-303,85	161,25	-1,88	0,1560
LBG (Q)	74,33	167,55	0,44	0,6874
FT x AR	-172,78	210,69	-0,82	0,4723
FT x LBG*	-1105,07	210,69	-5,25	0,0135
AR x LBG	-360,91	210,69	-1,71	0,1852

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 147:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	5500,99	311,87	17,64	0,0004
FT (L)	-222,09	169,03	-1,31	0,2803
FT (Q)	275,15	175,64	1,57	0,2152
AR (L)	-315,55	169,03	-1,87	0,1588
AR (Q)*	601,79	175,64	3,43	0,0416
LBG (L)	-462,90	169,03	-2,74	0,0714
LBG (Q)	-16,78	175,64	-0,10	0,9299
FT x AR	-585,87	220,85	-2,65	0,0768
FT x LBG	-290,49	220,85	-1,32	0,2799
AR x LBG	-283,23	220,85	-1,28	0,2898

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 148:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	6241,85	243,50	25,63	0,0001
FT (L)	-221,09	131,98	-1,68	0,1925
FT (Q)	13,00	137,13	0,09	0,9304
AR (L)	-242,34	131,98	-1,84	0,1637
AR (Q)	356,65	137,13	2,60	0,0803
LBG (L)*	-548,30	131,98	-4,15	0,0254
LBG (Q)	198,65	137,13	1,45	0,2433
FT x AR*	-875,49	172,44	-5,08	0,0148
FT x LBG	109,18	172,44	0,63	0,5716
AR x LBG	-59,35	172,44	-0,34	0,7534

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

#### **4.3.4.2.3. Pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados**

A Tabela 149 apresenta os valores do atributo dureza obtidos na análise de perfil de textura dos P62, após um, quatro e sete dias do forneamento, conjuntamente com a matriz do planejamento experimental. O aumento em porcentagem dos valores após o quarto e sétimo dias, em relação ao primeiro dia, também é apresentado.

Observa-se que os valores de dureza após o primeiro, quarto e sétimo dias do forneamento variaram de 4211,15 a 7012,68 gf, de 4765,05 a 23403,07 gf e de 5596,25 a 22620,27 gf, respectivamente. Observa-se que os maiores valores de dureza após quatro e sete dias de forneamento foram apresentados pelos pães do Ensaio 03. Alguns pães deste ensaio, por terem ficado estocados no fundo do freezer, foram comprimidos pelo peso dos demais pães, o que causou um achatamento de sua estrutura.

Através dos resultados da dureza apresentados na Tabela 149, é possível verificar a possibilidade de modelos de 2<sup>a</sup> ordem. Nenhum efeito linear, quadrático ou de interação entre as variáveis apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para esta resposta dos P62 após um e quatro dias do forneamento. As Tabelas 150 e 151 confirmam esta avaliação. Desta forma, não foi possível estabelecer um modelo para esta resposta nestes dias avaliados. Para a dureza dos P62 após sete dias do forneamento, também não foi possível estabelecer um modelo em função das três fontes de fibra alimentar estudadas, apesar de alguns fatores terem sido significativos a 95% (Tabela 152). Os coeficientes de determinação foram muito baixos e os resíduos muito altos.

**Tabela 149:** Dureza dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um, quatro e sete dias do forneamento e o aumento da dureza em relação ao primeiro dia após o forneamento.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Dia 1		Dia 4		Dia 7	
				Dureza (gf)	Dureza (gf)	Aumento (%)	Dureza (gf)	Aumento (%)	
1	-1	-1	-1	5238,45 ± 303,13	8790,84 ± 1726,57	67,81	7975,63 ± 308,31	52,25	
2	+1	-1	-1	5635,52 ± 378,87	8557,56 ± 360,69	51,85	9437,20 ± 367,77	67,46	
3	-1	+1	-1	6011,48 ± 659,29	23403,07 ± 2319,21	289,31	22620,27 ± 2614,99	276,28	
4	+1	+1	-1	5075,93 ± 645,59	6138,19 ± 565,58	20,93	6019,78 ± 657,73	18,59	
5	-1	-1	+1	4928,39 ± 703,28	6686,25 ± 286,99	35,67	6662,86 ± 767,85	35,19	
6	+1	-1	+1	4829,25 ± 464,02	5751,86 ± 169,19	19,10	6815,65 ± 489,98	41,13	
7	-1	+1	+1	7012,68 ± 555,99	8110,81 ± 772,92	15,66	8801,59 ± 614,03	25,51	
8	+1	+1	+1	4545,29 ± 120,22	4765,05 ± 304,55	4,83	5596,25 ± 947,87	23,12	
9	-1,68	0	0	6267,86 ± 692,59	7577,78 ± 630,95	20,90	9716,53 ± 1763,50	55,02	
10	+1,68	0	0	5569,17 ± 225,29	6530,11 ± 1037,33	17,25	6845,08 ± 693,38	22,91	
11	0	-1,68	0	4211,15 ± 505,07	6686,84 ± 939,74	58,79	7966,71 ± 537,29	89,18	
12	0	+1,68	0	4512,48 ± 306,22	5249,11 ± 612,99	16,32	6235,17 ± 583,10	38,18	
13	0	0	-1,68	5617,46 ± 344,47	6113,98 ± 408,60	8,84	7796,85 ± 775,26	38,80	
14	0	0	+1,68	6951,19 ± 840,46	7237,39 ± 1023,34	4,12	8733,23 ± 782,55	25,64	
15	0	0	0	4848,62 ± 443,66	5987,45 ± 376,59	23,49	6162,00 ± 250,91	27,09	
16	0	0	0	5561,83 ± 295,30	5895,11 ± 129,03	5,99	6934,80 ± 568,02	24,69	
17	0	0	0	6094,36 ± 495,89	8546,40 ± 1215,11	40,23	10190,63 ± 4398,99	67,21	
18	0	0	0	4285,07 ± 607,94	5570,14 ± 397,25	29,99	6723,82 ± 535,00	56,91	

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba).

\* média ± desvio padrão, n = 3.

**Tabela 150:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um dia do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	5203,84	396,42	13,13	0,0010
FT (L)	-313,40	214,86	-1,46	0,2407
FT (Q)	226,44	223,25	1,01	0,3851
AR (L)	184,56	214,86	0,86	0,4535
AR (Q)	-323,94	223,25	-1,45	0,2427
LBG (L)	116,96	214,86	0,54	0,6240
LBG (Q)	355,77	223,25	1,59	0,2093
FT x AR	-462,61	280,72	-1,65	0,1979
FT x LBG	-253,51	280,72	-0,90	0,4331
AR x LBG	198,36	280,72	0,71	0,5307

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 151:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (8)	p - valor
Média*	6380,95	1890,28	3,38	0,0097
FT (L)	-1723,70	1024,52	-1,68	0,1310
FT (Q)	727,61	1064,55	0,68	0,5136
AR (L)	747,80	1024,52	0,73	0,4863
AR (Q)	343,66	1064,55	0,32	0,7551
LBG (L)	-1441,50	1024,52	-1,41	0,1971
LBG (Q)	593,88	1064,55	0,56	0,5922
FT x AR	-2430,37	1338,60	-1,82	0,1070
FT x LBG	1652,25	1338,60	1,23	0,2521
AR x LBG	-1469,39	1338,60	-1,10	0,3043

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 152:** Coeficientes de regressão para a resposta dureza dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias do forneamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (3)	p - valor
Média*	7438,17	909,32	8,18	0,0038
FT (L)*	-1685,65	492,85	-3,42	0,0418
FT (Q)	564,31	512,10	1,10	0,3510
AR (L)	676,18	492,85	1,37	0,2637
AR (Q)	147,16	512,10	0,29	0,7925
LBG (L)	-1215,64	492,85	-2,47	0,0903
LBG (Q)	558,73	512,10	1,09	0,3550
FT x AR*	-2677,53	643,93	-4,16	0,0253
FT x LBG	1510,80	643,93	2,35	0,1007
AR x LBG	-1288,49	643,93	-2,00	0,1392

FT = farelo de trigo; AR = amido resistente; LBG = *locust bean gum* (goma de alfarroba); L = fator linear; Q = fator quadrático.

\* fatores estatisticamente significativos a 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

Bárcenas, Benedito e Rosell (2004) verificaram que a presença de hidrocolóides reduziu a dureza do miolo de pães pré-assados reassados em relação a dos pães que não tiveram adição. Neste trabalho, após um dia do forneamento, verificou-se que o fator de interação do farelo de trigo e LBG teve efeito de redução da dureza dos P32, no entanto, este efeito não foi verificado para o restante da vida de prateleira. Nos P62, a LBG não influenciou a dureza destes pães em todos os dias avaliados.

De acordo com Faridi (1985), o volume tem influência na firmeza do miolo. Para volumes de pesos equivalentes, diferenças no volume geralmente implicam em diferenças na espessura das paredes e no tamanho das células de gás. A Tabela 153 mostra que a dureza só teve boa correlação com o volume e com o volume específico dos PC nos primeiros dias da vida de prateleira, sendo que um maior volume ou volume específico nestes dias se traduziu em menores valores

de dureza. Nenhuma correlação foi verificada entre estes parâmetros dos P32 e P62.

**Tabela 153:** Coeficientes de correlação (r) entre a dureza dos pães e o volume e volume específico dos pães.

Pães	Dia	Volume	VE
PC	1	-0,8775	-0,8865
	4	-0,8529	-0,8667
	7	-0,5874	-0,5937
P32	1	-0,1533	-0,2105
	4	-0,1418	-0,0678
	7	-0,2623	-0,1960
P62	1	-0,3760	-0,2207
	4	-0,1237	-0,0010
	7	-0,1452	-0,00001

VE = volume específico; PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

A Tabela 154 apresenta a média da dureza ao longo da vida de prateleira dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

**Tabela 154:** Média da dureza ao longo da vida de prateleira dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 e 62 dias de estocagem congelada e reassados.

Dureza (gf)	PC	P32	P62
Dia 1	3896,1 <sup>b</sup> ± 839,66	5641,4 <sup>a</sup> ± 1560,45	5399,8 <sup>a</sup> ± 837,77
Dia 4	4861,1 <sup>b</sup> ± 1242,38	6153,6 <sup>ab</sup> ± 1178,69	7644,3 <sup>a</sup> ± 4109,46
Dia 7	5745,3 <sup>b</sup> ± 771,81	6673,0 <sup>b</sup> ± 1130,70	8401,9 <sup>a</sup> ± 3799,06

PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados.

\* média ± desvio padrão, n = 18. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Observando os valores apresentados na Tabela 154, verifica-se que, nos dias 4 e 7, os pães pré-assados reassados que tiveram um período de estocagem de 62 dias apresentaram maior dureza em relação aos pães assados convencionalmente, o que não aconteceu com os pães pré-assados estocados por 32 dias. Verificou-se que estes não apresentaram diferença de dureza em relação aos PC após 4 e 7 dias do forneamento. No entanto, após um dia do forneamento, os pães pré-assados, independentemente do período de estocagem congelada, apresentaram maior dureza em relação aos pães assados convencionalmente.

Fik e Surówka (2002) não verificaram efeito do período de estocagem congelada (77 dias) na dureza do miolo de pães pré-assados reassados. No entanto, Bárcenas *et al.* (2003) e Bárcenas, Benedito e Rosell (2004) observaram um aumento significativo da dureza do miolo dos pães com o tempo de estocagem congelada (42 dias). De acordo com estes últimos autores, quando hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) foi adicionada à formulação destes pães pré-assados e reassados, a dureza do miolo não foi afetada pelo período de estocagem congelada, e quando  $\kappa$ -carragena foi adicionada, a dureza do miolo aumentou somente até 14 dias de estocagem congelada, e, a partir deste período, nenhum aumento foi verificado.

#### **4.3.4.2.4. Considerações sobre a análise instrumental de textura**

A indústria de alimentos à base de cereais tem uma longa história de trabalhos que estudam a reologia de processos, especialmente em massas de pão. O campo de reologia de massas de pão é bem desenvolvido. Porém, a medida da textura em produtos acabados à base de cereais, na forma em que são vendidos, não tem tido um desenvolvimento na mesma extensão (FARIDI; FAUBION, 1990).

Munhoz (2003), trabalhando com pães formulados com hidrocolóides, não conseguiu obter modelos quadrático ou linear para a textura do pão após 24, 72 e 144 horas, através da análise em texturômetro TA-XT2 pelo método 74-09 da AACC (1995). A ocorrência de tal fato foi explicada pela autora pela falta de homogeneidade das amostras, devido a uma distribuição não uniforme na transferência de calor no forno utilizado e também pelas medidas de textura terem sido realizadas em fatias retiradas de posições diferentes da embalagem.

Através deste trabalho, pode-se observar que, apesar das fatias analisadas terem sido retiradas da mesma posição na embalagem, também não se obtiveram modelos quadrático ou linear para o atributo de dureza de todos os pães (convencionais e pré-assados reassados), ao longo de toda a vida de prateleira. Inicialmente, foram realizados testes que avaliaram a cor e o volume dos pães forneados em diferentes posições do forno (dados não apresentados) e, a partir destes resultados, definiram-se as regiões de utilização (quadrantes), para tentar diminuir a desigualdade de transferência de calor no forno.

Acredita-se que o principal motivo que levou ao insucesso da avaliação de textura pela metodologia de análise de perfil de textura (TPA) neste trabalho foi a avaliação da fatia inteira do pão (crosta e miolo juntos), já que, ambos apresentam características diferentes. A sugestão para outros trabalhos é que se avalie somente o miolo pelo TPA, verificando impreterivelmente a igualdade do tamanho das amostras a serem avaliadas. Uma outra sugestão seria acompanhar o envelhecimento do pão não só por avaliação de propriedades macroscópicas,

como a textura, mas também de propriedades microscópicas (análises de microscopia eletrônica, confocal e de luz polarizada), estruturais (DSC, DMA) e moleculares (ressonância magnética nuclear), como descrito por Chinachoti e Vodovotz (2001).

#### **4.3.5. Fibra alimentar total**

O cálculo teórico do teor de fibra alimentar total (FAT) e da porcentagem do valor diário fornecida pelos pães está apresentado na Tabela 155.

**Tabela 155:** Cálculo teórico do teor de fibra alimentar total e da porcentagem do valor diário fornecida pelos pães.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	100 g		Porção 50g* (3 ½ unidades)	
				FAT (g/100g)	VD** (%)	FAT (g/50g)	VD** (%)
1	-1	-1	-1	4,16	16,64	2,08	8,32
2	+1	-1	-1	7,28	29,10	3,64	14,55
3	-1	+1	-1	6,68	26,71	3,34	13,36
4	+1	+1	-1	9,46	37,83	4,73	18,92
5	-1	-1	+1	4,90	19,62	2,45	9,81
6	+1	-1	+1	7,90	31,60	3,95	15,80
7	-1	+1	+1	7,31	29,22	3,65	14,61
8	+1	+1	+1	10,03	40,12	5,02	20,06
9	-1,68	0	0	4,75	19,01	2,38	9,50
10	+1,68	0	0	9,57	38,28	4,79	19,14
11	0	-1,68	0	5,26	21,04	2,63	10,52
12	0	+1,68	0	9,12	36,48	4,56	18,24
13	0	0	-1,68	6,71	26,82	3,35	13,41
14	0	0	+1,68	7,77	31,08	3,89	15,54
15	0	0	0	7,27	29,07	3,63	14,54
16	0	0	0	7,26	29,03	3,63	14,52
17	0	0	0	7,26	29,03	3,63	14,52
18	0	0	0	7,27	29,07	3,63	14,54

FAT = fibra alimentar total; VD = valor diário.

\* Com base na porção estabelecida pela Resolução RDC ANVISA/MS nº 359, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003 a).

\*\* Com base no valor diário de referência (VDR) para fibra alimentar (25 g) que consta na Resolução RDC ANVISA/MS nº 360, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003 b).

Pelo cálculo teórico, verifica-se que todos os pães são “fontes de fibra” (FAT > 3 g/100g) e, excetuando-se os pães dos ensaios 1, 5, 9 e 11, todos os pães têm “alto teor de fibra” (FAT > 6 g/100 g) pela legislação brasileira.

Na análise do teor de fibra alimentar total realizada experimentalmente no ensaio 15 do P62, verificou-se que este pão continha 9,18 g/100 g de pão ( $14,63 \pm 0,04$  g/100 g de pão em base seca). Logo, verifica-se que o valor encontrado experimentalmente ficou um pouco acima do valor teórico, o que pode ter sido devido ao conteúdo de fibra da farinha de trigo ser um pouco maior do que o estimado (2,5%) ou devido à ocorrência da retrogradação do amido.

Modificações e mudanças nos vários oligossacarídeos e amidos com o processamento tem sido reportadas (NIBA, 2003). Amido resistente é formado quando parte da amilose do amido gelatinizado durante o assamento retrograda (cristaliza-se) durante o resfriamento. Uma fração de baixo peso molecular da amilose cristaliza-se em aglomerados firmemente unidos que são resistentes à digestão pela  $\alpha$ -amilase. A quantidade formada depende da natureza do amido original (proporção de amilose:amilopectina) e do procedimento de assamento utilizado. Então, amido resistente é um artefato do processo e, desta forma, não seria uma fibra alimentar “real”. No entanto, ele é muito inerte e não é digerido ou absorvido no intestino humano, sendo então, uma legítima parte da fibra alimentar insolúvel (CAUVAIN, 2003). A formação de amido resistente e de amido quimicamente modificado aumenta o teor de fibra alimentar (THEANDER; WESTERLUND; AMAN, 1993). De acordo com Brown (2004), o teor de amido resistente de um pão branco seria de 0,5 g/100 g.

Diferentemente dos resultados encontrados neste trabalho, Abdul-Hamid e Luan (2000) e Wang, Rosell e Barber (2002) ao trabalharem com farelo de arroz e LBG como fontes de fibra, respectivamente, encontraram que o conteúdo de fibra alimentar no produto final (pães) foi menor do que a quantidade adicionada. Os primeiros autores explicaram que algumas fibras podem ser hidrolisadas pelas enzimas das leveduras utilizadas ou podem ser perdidas devido à alta temperatura de forneamento. De acordo com Niba (2003), condições de processamento e estocagem têm impacto nas propriedades físico-químicas do alimento e de seus componentes. O processamento de produtos à base de cereais afeta o conteúdo e a composição de fibra alimentar (THEANDER; WESTERLUND; AMAN, 1993).

De uma forma geral, constatou-se neste trabalho que a adição de fontes de fibra alimentar pode aumentar o conteúdo de fibra alimentar total do pão, uma vez que o teor de fibra alimentar total do pão branco relatado na literatura varia de 1,25 a 3,00% (BROWN, 2004; CHO; DEVRIES; PROSKY, 1997; KENT, 1983; PROSKY; DEVRIES, 1992).

Basman e Köksel (1999, 2001) observaram que, com o aumento dos níveis de adição de farelo de trigo, o conteúdo de fibra alimentar de pães típicos da Turquia (Bazlama ou Yufka) também foi aumentado. Wang, Rosell e Barber (2002) também verificaram que o conteúdo de fibra alimentar total do pão foi aumentado (em 71%) pela adição de LBG (3%).

## **5. CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que a adição das diferentes fontes de fibra alimentar interferiram nos parâmetros farinográficos da farinha de trigo. O modo de interferência dependeu da fonte de fibra, da quantidade empregada e do parâmetro farinográfico analisado. A presença simultânea das três fontes, dentro das faixas estudadas, contribuiu para um aumento da absorção farinográfica, do tempo de chegada e do ITM, e para uma redução do tempo de saída e da estabilidade da farinha. Isto significa que na produção dos pães, modificações em termos de processo e formulação são esperadas como, por exemplo, a necessidade de aumento da quantidade de água na formulação e o aumento do tempo de mistura da massa.

Com relação aos parâmetros do processo de panificação, verificou-se que as diferentes fontes de fibra alimentar interferiram no tempo de mistura rápida, mas não contribuíram para modificar o tempo de fermentação.

Na qualidade dos pães, o farelo de trigo contribuiu para uma diminuição do volume específico dos pães convencionais. Uma redução do volume específico dos pães pré-assados em relação aos convencionais foi verificada, mas nenhuma das fontes de fibra alimentar apresentou interferência neste efeito. No entanto, elas tiveram influência no colapso da estrutura apresentado pelos pães pré-assados.

De um modo geral, constatou-se que a adição das diferentes fontes de fibra alimentar interferiu nos parâmetros de cor da crosta e do miolo ( $L^*$ ,  $C^*$  e  $h$ ) dos pães convencionais e dos pães pré-assados. Esta interferência parece estar muito mais relacionada à cor inerente das próprias fibras alimentares ou à sua atuação na retenção de umidade, do que à participação de produtos de degradação destas fibras em reações de escurecimento.

Em relação à análise sensorial dos pães, verificou-se que os provadores expressaram uma boa aceitação sensorial para todos os atributos de todos os pães avaliados (convencionais e pré-assados). Os únicos atributos afetados pela

adição das fontes de fibra alimentar foram aqueles relacionados ao miolo (aparência e cor) e a textura. Percebeu-se que, de um modo geral, o farelo de trigo foi a fonte de fibra alimentar que teve maior interferência na aceitação dos pães, contribuindo para aumentar a sua aceitação.

Observou-se que a umidade do miolo dos pães convencionais e dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados, ao longo da vida de prateleira, foi influenciada pela adição das fontes de fibras e que, de uma forma geral, como era de se esperar, miolos mais úmidos foram obtidos das massas com maiores absorções de água farinográfica.

Através dos dados de dureza dos pães convencionais, verificou-se que as fontes de fibra não tiveram efeito neste parâmetro de textura instrumental ao longo de toda a vida de prateleira.

Diferenças foram encontradas entre os pães convencionais e os pães pré-assados. No entanto, percebeu-se que o congelamento em si tem um maior efeito na maioria das características de qualidade do pão congelado do que o tempo de estocagem congelada (32 ou 62 dias), ou seja, que a modificação na maioria dos parâmetros avaliados se deu pelo congelamento e, uma vez congelado o pão, não houve diferença nas características pelo aumento do tempo de estocagem.

Através deste trabalho, pôde-se constatar que é possível produzir pães convencionais e pães pré-assados congelados com fibras que atendem à legislação brasileira para fins de rotulagem nutricional de fibra alimentar (considerados fontes e/ou alto teor de fibras) e às necessidades tecnológicas e sensoriais para serem considerados produtos de boa qualidade.

A definição da quantidade ideal de cada fonte de fibra alimentar a ser acrescentada depende de diversos fatores, entre eles: o teor de fibra alimentar desejado no produto final, as limitações do processo e as características de qualidade estabelecidas para o produto em questão (cor, volume específico, umidade do miolo, etc.). De um modo geral, verificou-se que adições de farelo de trigo entre 10% e 20%, amido resistente entre 0 e 20% e LBG entre 1,5% e 3,0%

seriam adequadas para obter pães com boa avaliação sensorial e com boas características tecnológicas em termos de volume específico e umidade do miolo.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AACC - American Association of Cereal Chemists **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9. ed. St. Paul: Approved Methods Committee, 1995. v.1 e 2.

AACC - American Association of Cereal Chemists The definition of dietary fiber **Cereal Foods World**, vol. 46, n. 3, p. 112-125, 2001.

ABDUL-HAMID, A.; LUAN, Y. S. Functional properties of dietary fibre prepared from deffated rice bran **Food Chemistry**, v. 68, n. 1, p. 15-19, 2000.

AHMAD, F. B.; WILLIAMS, P. A. Effect of galactomannans on the thermal and rheological properties of sago starch **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n.3 , p. 1578-1586, 2001.

ALMEIDA, E.L.; FARIA, J.P.C.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. **Pão pré-assado congelado enriquecido com fibras: teste de tempo de pré-assamento** Trabalho apresentado ao VI Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, Campinas, 2005.

AL-SAQER, J. M.; SIDHU, J. S.; AL-HOOTI, S. N. Instrumental texture and baking quality of high-fiber toast bread as affected by added wheat mill fractions **Journal of Food Processing Preservation**, v. 24, n. 1, p. 1-16, 2000.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science today**, v. 14, n. 1, p.11-12, 1969.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists** . 16 ed., 3. rev.. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos**: teoria e prática 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2001, 335p.

BAKING BUSINESS **Successful par-baking** Disponível em:  
<[http://www.bakingbusiness.com/refbook\\_results.asp?ArticleID=44449](http://www.bakingbusiness.com/refbook_results.asp?ArticleID=44449)>. Acesso em: 14 jul. 2005.

BARBER, S.; BARBER, C. B.; MARTÍNEZ, J. Rice bran proteins. II. Potencial value of rice bran fractions as protein food ingredients **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 247-258, 1981.

BÁRCENAS, M. E.; HAROS, M.; BENEDITO, C.; ROSELL, C. M. Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread **Food Research International**, v. 36, n.8 , p. 863-869, 2003.

BÁRCENAS, M. E.; BENEDITO, C.; ROSELL, C. M. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage **Food Hydrocolloids**, v. 18, n. 5, p. 769-774, 2004.

BÁRCENAS, M. E.; ROSELL, C. M. Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 1, p. 92-99, 2006.

BAGHURST, P. A.; BAGHURST, K. I.; RECORD, S. J. Dietary fiber, non-starch polysaccharides and resistant starch – a review **Food Australia**, v. 48, n. 3, p. S-3-S35, 1996.

BASMAN, A., KÖKSEL, H. Properties and composition of Turkish flat bread (bazlama) supplemented with barley flour and wheat bran **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 4, p. 506-511, 1999.

BASMAN, A., KÖKSEL, H. Effects of barley flour and wheat bran supplementation on the properties and composition of Turkish flat bread (yufka) **European Food Research Technology**, v. 212, n. 2, p. 198-202, 2001.

BLANSHARD, J. M. V.; FRAZIER, P. J.; GALLIARD, T. (Eds.) **Chemistry and physics of baking: materials, process and products**. London: The Royal Society of Chemistry, 1986. 276p.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social **Um panorama do segmento de padarias, no Brasil**. Disponível em: <[www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/get4is26.pdf](http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/get4is26.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2004.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building** New York: Chichester. 1978. 653 p.

BRASIL Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jan 1998. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=97&word=>>>. Acesso em: 18 nov. 2005.

BRASIL Resolução ANVISA/MS nº 386, de 5 de agosto de 1999. Regulamento técnico sobre aditivos alimentares utilizados segundo as boas práticas de fabricação e suas funções . **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 ago 1999. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=11541>>. Acesso em: 18 nov. 2004.

BRASIL Resolução RDC ANVISA/MS nº 359, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento técnico de porções de alimentos embalados para fins de rotulagem nutricional. **Diário Oficial da União**; Brasília, DF, 26 dez. 2003. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=9058&word=>>. Acesso em: 05 mar. 2006.

BRASIL Resolução RDC ANVISA/MS nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 dez. 2003. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=9059>>. Acesso em: 18 nov. 2004.

BRASIL Instrução Normativa MAPA nº 8, de 2 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 jun. 2005. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/consultasislegis/Imagem?codArquivo=6887>>. Acesso em: 15 jan. 2006.

BRASIL Resolução RDC ANVISA/MS nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=18822&word=>>. Acesso em: 01 mar. 2006.

BROUNS, F.; KETTLITZ, B.; ARRIGONI, E. Resistant starch and “the butyrate revolution” **Trends in Food Science and Technology**, v.13, n. 8, p. 251–261, 2002.

BROWN, I. L. Applications and uses of resistant starch **Journal of AOAC International**, v. 87, n. 3, p. 727 – 732, 2004.

BROWN, I. L.; MC NAUGHT, K. J.; MOLONEY, E. Hi-maize<sup>TM</sup>: new directions in starch technology and nutrition **Food Australia**, v. 47, n. 6, p. 272 – 275, 1995.

CARR, L. G.; TADINI, C. C. Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked French bread **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 36, n. 6, p. 609-614, 2003.

CAUVAIN, S. P. Breadmaking In: OWENS, G. (Ed.) **Cereals processing technology** Cambridge: Woodhead Publishing Limited; Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. Cap. 10, paginação irregular.

CAUVAIN, S. P. (Ed.) **Bread making: improving quality**. Boca Raton: CRC Press LLC, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2003. paginação irregular.

CHINACHOTI, P.; VODOVOTZ, Y (Eds.) **Bread staling**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. paginação irregular.

CHEN, H.; RUBENTHALER, G. L.; SCHANUS, E. G. Effect of apple fiber and cellulose on the physical properties of wheat flour **Journal of Food Science**, v. 53, n. 1, p. 304-305, 1988.

CHO, S.; DEVRIES, J. W.; PROSKY, L. **Dietary fiber analysis and applications** Maryland: AOAC International, 1997. 202p.

CHO, S. S.; DREHER, M. L. (Eds.) **Handbook of dietary fiber**. Switzerland, New York: Marcel Dekker, Inc., 2001. paginação irregular.

CORNELL, H. J.; HOVELING, A. W. **Wheat: chemistry and utilization**. Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc., 1998. 426p.

CZUCHAJOWSKA, Z.; POMERANZ, Y.; JEFFERS, H. C. Water activity and moisture content of dough and bread **Cereal Chemistry**, v. 66, n. 2, p. 128-132, 1989.

DANISCO BRASIL LTDA. **Descrição de produto GRINDSTED® LBG147**, 2005. 2p.

DURAL, N. H.; HINES, A. Adsorption of water on cereal-bread type dietary fibers **Journal of Food Engineering**, v. 20, n. 1, p. 17-43, 1993.

EERLINGEN, R. C.; HAESSENDONCK, I. P. V.; PAEPE, G.; DELCOUR, J. A. Enzyme-resistant-starch. III. The quality of straight-dough bread containing varying levels of enzyme-resistant starch **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 2, p. 165-170, 1994.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; HUDSON, G. J.; CUMMINGS, J. H. Measurement of resistant starch *in vitro* and *in vivo* **British Journal of Nutrition**, v. 75, n. 5, p. 749-755, 1996.

ESKIN, N. A. M.; ROBINSON, D. S. (Eds.) **Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. paginação irregular.

FARIDI, H. (Ed.) **Rheology of wheat products** St. Paul: American Association of Cereal Chemistry, Inc., 1985. 273p.

FARIDI, H.; FAUBION, J. M. **Dough rheology and baked product texture** 3<sup>a</sup> ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 605 p.

FERREIRA, P. B. M.; WATANABE, E. ; BENASSI, V. T. Estudo do processo de produção de pão francês pré-assado **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, n. 1 e 2, p. 91-95, 1999.

FIK, M.; SURÓWKA, K. Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n.11, p. 1268-1275, 2002.

FINNEY, P. L.; HENRY, S.; JEFFERS, H. Effect of wheat variety, flour grinding, and egg yolk on whole wheat bread quality **Cereal Chemistry**, v. 62, n. 3, p. 170-173, 1985.

GAN, Z.; ELLIS, P.R.; VAUGHAN, J. G.; GALLIARD, T.; Some effects of non-endosperm components of wheat and of added gluten on wholemeal bread microstructure **Journal of Cereal Science**, v. 10, n. 2, p.81-91, 1989.

GAN, Z.; GALLIARD, T.; ELLIS, P.R.; ANGOLD, R. E.; VAUGHAN, J. G. Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread **Journal of Cereal Science**, v. 15, n.2, p.151-163, 1992.

GAN, Z.; ELLIS, P.R.; SCHOFIELD, J. D. Mini review: gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough **Journal of Cereal Science**, v. 21, n. 3, p.215-230, 1995.

GÓMEZ, M.; RONDA, F.; BLANCO, C. A.; CABALLERO, P. A.; APESTEGUÍA, A. Effect of dietary on dough rheology and bread quality **European Food Research and Technology**, v. 216 , n. 1, p. 51-56, 2003.

GRENIER, A.; MONTEAU, J-Y.; LE BAIL, A.; HAYERT, M. Effect of external conditions on the rate of post-baking chilling of bread **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 1, p. 19-24, 2002.

GUARDA, A.; ROSELL, C. M.; BENEDITO, C.; GALONTO, M. J. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents **Food Hydrocolloids**, v. 18, n. 2, p. 241-247, 2004.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology **Food Research International**, vol. 33, n. 3-4 , p. 233-245, 2000.

GUJRAL, H. S.; HAROS, M.; ROSELL, C. M. Improving the texture and delaying staling in rice flour chapatti with hydrocolloids and  $\alpha$ - amilase **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 1, p. 89-94, 2004.

HAMDAMI, N.; MONTEAU, J-Y.; LE BAIL, A. Effective thermal conductivity of a high porosity model food at above and sub-freezing temperatures **International Journal of Refrigeration**, v. 26, n. 7, p. 809-816, 2003.

HAMDAMI, N.; MONTEAU, J-Y.; LE BAIL, A. Transport properties of high porosity model food at above and sub-freezing temperatures. Part 1: Thermophysical properties and water activity **Journal of Food Engineering**, v. 62, n. 4, p. 373-383, 2004.

HAMDAMI, N.; MONTEAU, J-Y.; LE BAIL, A. Thermophysical properties evolution of French partly baked bread during freezing **Food Research International**, v. 37, n. 7, p. 703-713, 2004.

HAMDAMI, N.; MONTEAU, J-Y.; LE BAIL, A. Simulation of coupled heat and mass transfer during freezing of porous humid matrix **International Journal of Refrigeration**, v. 27, n. 6, p. 595-603, 2004.

HAMDAMI, N.; MONTEAU, J-Y.; LE BAIL, A. Heat and mass transfer in par-baked bread during freezing **Food Research International**, v. 37, n. 5, p. 477-488, 2004.

HASEBORG, E. T.; HIMMELSTEIN, A. Quality problems with high-fiber breads solved by use of hemicellulase enzymes **Cereal Foods World**, v.33, n. 5, p. 419-422, 1988.

HERALD, C. T. Locust/Carob Bean Gum In: GLISCKSMAN, M. **Food Hydrocolloids** Florida: CRC Press, 1986. v. 5, p. 162-170.

HHS; USDA **Dietary Guidelines for Americans 2005**. Disponível em: <<http://www.healthierus.gov/dietaryguidelines/>>. Acesso em: 04 mar. 2006.

HILLEBRAND, M. Altering equipment to produce par-baked breads: with some modifications to existing lines, any baker that has the means to bake and freeze can produce par-baked breads. **Baking Management** Disponível em: <<http://bakingmanagement.bakery-net.com/article/7877>>. Acesso em: 14 jul. 2005.

HINDMARSH, J. P.; RUSSELL, A. B.; CHEN, X. D. Experimental and numerical analysis of the temperature transition of a freezing food solution droplet **Chemical Engineering Science**, v. 59, n. 12, p. 2503-2515, 2004.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal: science and technology**. 2<sup>a</sup> ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemistry, Inc., 1998. 378p.

JENKINS, D. J. A.; KENDALL, C. W. C.; VUKSAN, V.; AUGUSTIN, L. S. A.; LI, Y. M.; LEE, B.; MEHLING, C. C.; PARKER, T.; FAULKNER, D; SEYLER, H.; VIDGEN, E.; FULGONI, V. The effect of wheat bran particle size on laxation and colonic fermentation **Journal of the American College of Nutrition**, v. 18, n. 4, p. 339-345, 1999.

JEREMIAH, L. E. (Ed.) **Freezing effects on quality on food quality** New York, Basel, Hong Kong: Marcel Dekker, Inc., 1996. 520p.

JOHNSON, I. T.; SOUTHGATE, D. A. T. **Dietary fibre and related substances**. 1<sup>a</sup> ed. London: Chapman & Hall, 1994. 132p.

KENNEDY, J. C. (Ed.) *Managing frozen foods* Cambridge Woodhead Publishing Limited, Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. paginação irregular.

KENT, N. L. **Technology of cereals**: an introduction for students of food science and agriculture. 3<sup>a</sup> ed. Oxford: Pergamon Press Ltd., 1983. 221 p.

KOCK, S.; TAYLOR, J.; TAYLOR, J. R. N. Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 32, n. 6, p. 349-356, 1999.

LAI, C. S.; DAVIS, A. B., HOSENEY, R. C. Production of whole wheat bread with good loaf volume **Cereal Chemistry**, v. 66, n. 3, p. 2224-2227, 1989.

LAI, C. S.; HOSENEY, R. C.; DAVIS, A. B. Effects of wheat bran in breadmaking **Cereal Chemistry**, v. 66, n. 3, p. 217-219, 1989.

LAJOLO, F. M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E. W.; MENEZES, E. W. (Coord). **Fibra dietética en iberoamérica: tecnología y salud**: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 472 p.

LARRAURI, J. A. New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products **Trends in Food Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 3-8, 1999.

LAURIKAINEN, T.; HÄRKÖNEN, H.; AUTIO, K.; POUTANEN, K. Effects of enzymes in fibre-enriched baking **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 76, n. 2, p. 239-249, 1998.

LE BAIL, A.; MONTEAU, J. Y.; MARGERIE, F.; LUCAS, T.; CHARGELEGUE, A.; REVERDY, Y. Impact of selected process parameters on crust flaking of frozen partly baked bread **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. , p. 503-509, 2005.

LEE, M. H.; BAEK, M. H.; CHA, D. S.; PARK, H. J.; LIM, S. T. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums **Food Hydrocolloids**, v. 16, n. 4, p. 345-352, 2002.

LEUSCHNER, R. G. K.; O'CALLAGHAN, M. J. A.; ARENDT, E. K. Optimization of baking parameters of part-baked and rebaked Irish brown soda bread by evaluation of some quality characteristics **International Journal of Food Science and Technology**, v. 32, n. 6, p. 487-493, 1997.

LEUSCHNER, R. G. K.; O'CALLAGHAN, M. J. A.; ARENDT, E. K. Bacilli spoilage in part-baked and rebaked brown soda bread **Journal of Food Science**, v. 63, n. 5, p. 915-918, 1998.

LEUSCHNER, R. G. K.; O'CALLAGHAN, M. J. A.; ARENDT, E. K. Moisture distribution and microbial quality of part baked breads as related to storage and rebaking conditions **Journal of Food Science**, v. 64, n. 3, p. 543-546, 1999.

LILJEBERG, H.; AKERBERG, A.; BJÖRCK, I. Resistant starch formation in bread as influenced by choice of ingredients or baking conditions **Food Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 389-394, 1996.

LOCKEN, L.; LOSKA, S.; CHAIRMAN, W. S. (Eds.) **The farinograph handbook** St. Paul: American Association of Cereal Chemistry, Inc., 1972. 71p.

LUCAS, T.; LE RAY, D.; DAVENEL, A. Chilling and freezing of part-baked bread. Part I: An MRI signal analysis **Journal of Food Engineering**, v. 70, n. 2, p. 139-149, 2005.

LUCAS, T.; QUELLEC, S.; LE BAIL, A.; DAVENEL, A. Chilling and freezing of part-baked bread. Part II: Experimental assessment of water phase changes and structure collapse **Journal of Food Engineering**, v. 70, n. 2, p. 151-164, 2005.

MAC DOUGALL, D. B. Colour measurement of food: principles and practice. In: MAC DOUGALL, D. B (Ed.) **Colour in food: improving quality**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, Boca Raton: CRC Press LLC, 2002. Cap. 3, paginação irregular.

MAIER, H.; ANDERSON, M.; KARL, C.; MAGNUSON, K.; WHISTLER, R. L. Guar, Locust Bean, Tara and Fenugreek Gum In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Industrial Gums Polysaccharides and their Derivatives** 3. ed. London: Academic Press London 1993. p. 205-215.

MANDALA, I. G.; SOTIRAKOGLU, K. Effect of frozen storage and microwave reheating on some physical attributes of fresh bread containing hydrocolloids **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 4, p. 709-719, 2005.

MATUDA, T. G., PARRA, D. F.; LUGÃO, A.B.; TADINI, C. C. Influence of vegetable shortening and emulsifiers on the unfrozen water content and textural properties of frozen french bread dough **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 38, n. 3, p. 275-280, 2005.

MATZ, S. A. (Ed.) **Bakery: technology and engineering** London: The Avi Publishing Company, Inc., 1960. 669p.

MINOLTA **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation** Osaka: Minolta Camera Co. Ltd., 1993, 49p.

MONGEAU, R.; BRASSARD, R. Insoluble dietary fiber from breakfast cereals and brans: bile salt binding and water-holding capacity in relation to particle size **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 5, p. 413-417, 1982.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**: structure, physical characteristics and mechanical properties 2. ed. Canadá: Gordon and Breach Publishers, 1986, 891p.

MUNHOZ, M. P. **Influência dos hidrocolóides na qualidade tecnológica de pães**. 2003. 94 p. Tese (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

NATIONAL STARCH AND CHEMICAL **Technical service bulletin Hi-Maize™ 260**, 2005. 1p.

NAVICKIS, L. L.; NELSEN, T. C. Mixing and extensional properties of wheat flour doughs with added corn flour, fibers, and gluten **Cereal Foods World**, v. 37, n.1, p. 30-35, 1992.

NELLES, E. M.; RANDALL, P. G.; TAYLOR, J. R. N. Improvement of brown bread quality by prehydration treatment and cultivar selection of bran **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 4, p. 536-540, 1998.

NESTLÉ - Nutrição Clínica. **Publicações: fibras em nutrição enteral**.

Disponível em:

<<http://nutricaoclinica.nestle.com.br/publicacoes/fibrasnutricaenteral/>>. Acesso em: 10 abr. 2004.

NUSSINOVITH, A. **Hydrocolloid applications gum technology in the food and other industries** 1. ed. London: Blackie Academic & Professional, 1997. p.140-153.

ÖZBOY, Ö., KÖKSEL, H. Unexpected strengthening effects of a coarse wheat bran on dough rheological properties and baking quality **Journal of Cereal Science**, v. 25, n. 1, p. 77–82, 1997.

PAID, Y. Y.; WALKER, C.E. **Influence of baking conditions on part-baked bread properties**. Trabalho apresentado ao 2001 AACC Anual Meeting, Charlotte, 2001.

PERTEN, H. Rapid measurement of wet gluten quality by the gluten index **Cereal Foods World**, v. 35, n. 4, p. 401-402, 1990.

PINHEIRO, A. P. B. **Congelamento rápido garante qualidade para a indústria de panificação**. Disponível em: <[http://www.senai-ce.org.br/cm/cm\\_it\\_1/dsi/congelamento.html](http://www.senai-ce.org.br/cm/cm_it_1/dsi/congelamento.html)>. Acesso em: 08 jul 2005.

POMERANZ, Y.; SHOGREN, M. D.; FINNEY, K. F. White wheat bran and brewer's spent grains in high-fiber bread **The Bakers Digest**, v. 50, n. 6, p. 35-38, 1976.

POMERANZ, Y.; SHOGREN, M. D.; FINNEY, K. F.; BECHTEL, D. B. Fibre in breadmaking: effects on functional properties **Cereal Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 25-41, 1977.

POMERANZ, Y. (Ed.) **Wheat: chemistry and technology**. 3 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1988. 514p. v. 1 e 562p. v. 2

POSNER, E. S. Mechanical separation of a high dietary fiber fraction from wheat bran **Cereal Foods World**, v. 36, n. 7, p.553-556, 1991.

POSNER, E. S.; HIBBS, A. N. **Wheat flour milling**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1999. 341p.

PROSKY, L.; DEVRIES, J. **Controlling dietary fiber in food products** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992, 161p.

RAO, P. H.; RAO, H. M. Effect of incorporating wheat bran on the rheological characteristics and bread making quality of flour **Journal of Food Science and Technology**, v. 28, n. 2, p. 92-97, 1991.

REID, D. S. Fundamental physicochemical aspects of freezing **Food Technology**, v. 37, n. 4, p. 110-115, 1983.

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

ROJAS, J. A.; ROSELL, C. M.; BARBER, C. B. Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems **Food Hydrocolloids**, v. 13, n. 1, p. 27-33, 1999.

ROSELL, C. M.; ROJAS, J. A.; BARBER, C. B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 1, p. 75-81, 2001.

SALMENKALLIO-MARTTILA, M.; KATINA, K.; AUTIO, K. Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fiber wheat bread **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 4, p. 429-435, 2001.

SCHOFIELD, J.D.; CHEN, X. Analysis of free reduced and free oxidised glutathione in wheat flour **Journal of Cereal Science**, v. 21, n. 2, p. 127-136, 1995.

SCHWARZLAFF, S. S.; JOHNSON, J. M.; BARBEAU, W. E.; DUNCAN, S. Guar and locust bean gums as partial replacers of all-purpose flour in bread: an objective and sensory evaluation **Journal of Food Quality**, v. 19, n. 3, p. 217-229, 1996.

SHARADANANT, R.; KHAN, K. Effect of hydrophilic gums on frozen dough: I. Dough quality **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 6, p. 764-772, 2003.

SHARADANANT, R.; KHAN, K. Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II. Bread characteristics **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 6, p. 773-780, 2003.

SHARMA, H. R.; CHAUHAN, G. S. Effects of stabilized rice bran – Fenugreek blends on the quality of breads and cookies **Journal of Food Science and Technology**, v. 39, n. 3, p. 225-233, 2002.

SHENOY, A. H.; PRAKASH, J. Wheat bran (*Triticum aestivum*): composition, functionality and incorporation in unleavened bread **Journal of Food Quality**, v. 25, n. 3, p. 197-211, 2002.

SIDHU, J. S.; AL-HOOTI, S. N.; AL-SAQER, J. M. Effect of adding wheat bran and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread **Food Chemistry**, v. 67, n. 4, p. 365-371, 1999.

SLUIMER, P. **Principles of breadmaking**: functionality of raw materials and process steps St. Paul: The American Association of Cereal Chemists, Inc., 2005. 212p.

STATISTICA for Windows – Release 5.0. **StatSoft, Inc.** Tulsa, OK, USA, 1995.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices** 2 ed. San Diego: Academic Press, 1993. 338p.

THEANDER, O.; WESTERLUND, E.; AMAN, P. Structure and components of dietary fiber **Cereal Foods World**, v. 38, n. 3, p.135-141, 1993.

YUE, P.; WARING, S. Resistant starch in food applications **Cereal Foods World**, v. 43, n. 9, p. 690-695, 1998.

VAN-HUNG, P.; MORITA, N. Dough properties and bread quality of flours supplemented with cross-linked cornstarches **Food Research International**, v. 37, n. 5, p. 461–467, 2004.

VARO, P.; LAINE, R.; KOIIVISTOINEN, P. Effect of heat treatment on dietary fiber: interlaboratory study **Journal of Association of Analytical Chemists**, v. 66, n. 4, p. 933-938, 1983.

VORAGEN, A. G. J. Technological aspects of functional food-related **Trends in Food Science and Technology**, v.9 , n. 8-9, p. 328-335, 1998.

VULICEVIC, I. R.; ABDEL-AAL, E-S. M.; MITTAL, G. S.; LU, X. Quality and storage life of par-baked frozen breads **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 37, n. 2, p. 205-213, 2004.

WANG, J.; ROSELL, C. M.; BARBER, C. B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality **Food Chemistry**, v. 79, n. , p. 221-226, 2002.

WIELINGA, W. C. Galactomannans In: PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. (Eds.) **Handbook of hydrocolloids** Cambridge: Woodhead Publishing Limited; Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. Paginação Irregular. Cap. 8.

WOODS, M. N.; GORBACH, S. L. Influences of fiber on the ecology of the intestinal flora. In: SPILLER, S. A. (Ed.) **Handbook of dietary fiber in human nutrition** Boca Raton: CRC Press, 1986. p. 289-297.

WOOTTON, M.; SHAMS-UD-DIN, M. The effects of aqueous extration on the performance of wheat bran in bread **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 37, n. 4, 19, p. 387-390, 1986.

ZELEZNAK, K. J.; HOSENEY, R. C. The role of water in the retrogradation of wheat starch gels and bread crumb **Cereal Chemistry**, v. 63, n. 5, p. 407-411, 1986.

ZHANG, D.; MOORE, W. R. Effect of wheat bran particle size on bread dough rheological proprieties **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.74, n. 4, p. 490-496, 1997.

ZHANG, D.; MOORE, W. R. Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, n. 6, p. 805-809, 1999.

## Anexo A: Ficha de avaliação sensorial

### Teste de Aceitação de PÃO COM FIBRAS

Nome: \_\_\_\_\_

Por favor, avalie a amostra apresentada quanto aos atributos solicitados, utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do **pão com fibras**.

AMOSTRA _____		9	Gostei extremamente
Cor da crosta _____		8	Gostei muito
Cor do miolo _____		7	Gostei moderadamente
Aparência da crosta _____		6	Gostei ligeiramente
Aparência do miolo _____		5	Nem gostei / nem desgostei
Aroma _____		4	Desgostei ligeiramente
Sabor _____		3	Desgostei moderadamente
Textura _____		2	Desgostei muito
		1	Desgostei extremamente

Agora, com base na sua opinião sobre esta amostra de **pão com fibras**, se eu a encontrasse à venda eu:

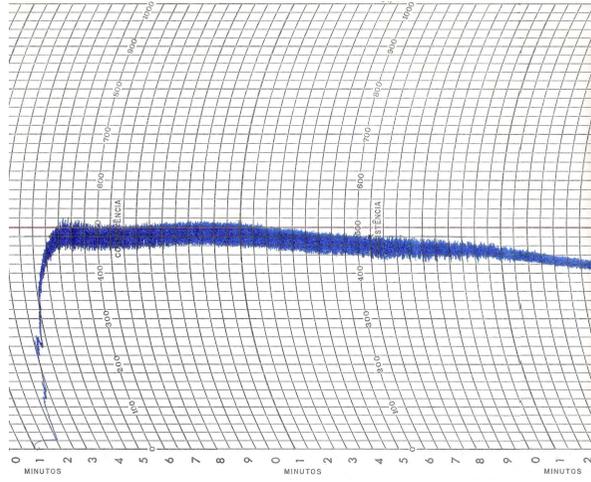
- ( ) certamente compraria
- ( ) possivelmente compraria
- ( ) talvez comprasse/ talvez não comprasse
- ( ) possivelmente não compraria
- ( ) certamente não compraria

Comentários: \_\_\_\_\_

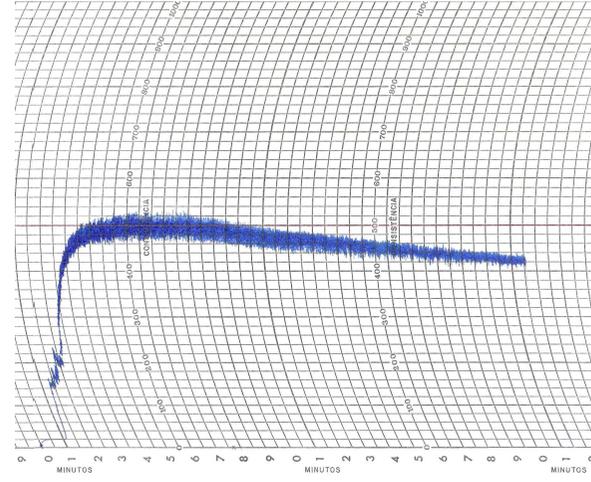
---

---

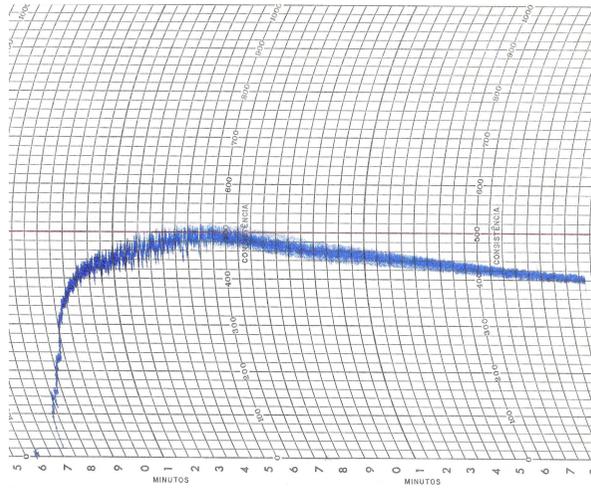
---



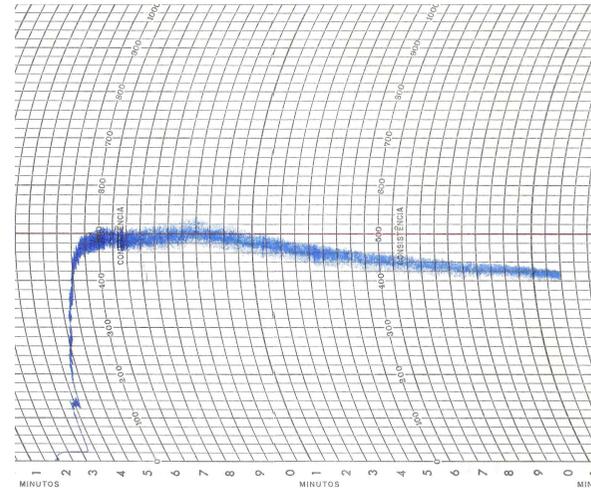
(a)



(b)

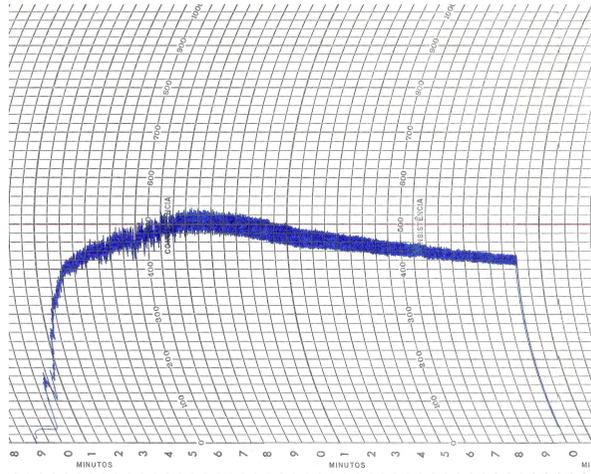


(c)

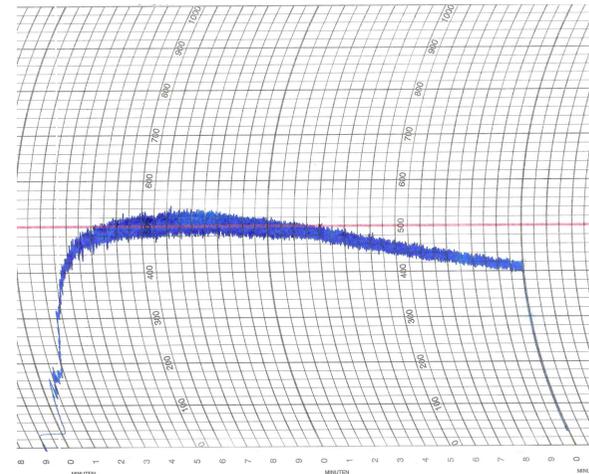


(d)

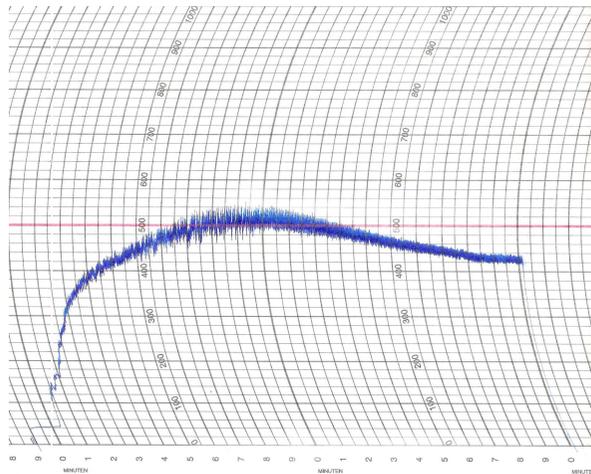
**Anexo BA:** Farinogramas (a) da farinha de trigo e dos ensaios (b) 1, (c) 2 e (d) 3.



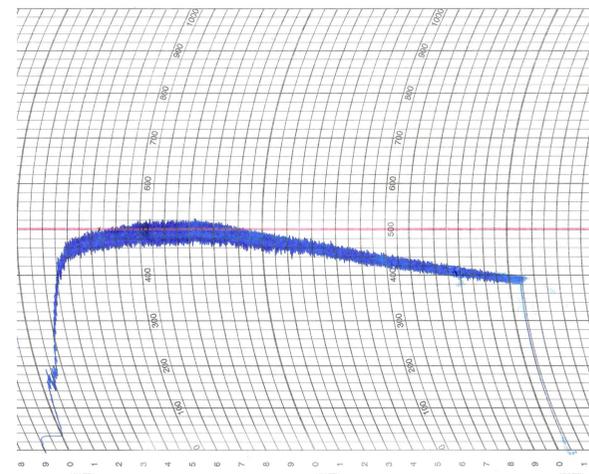
(a)



(b)

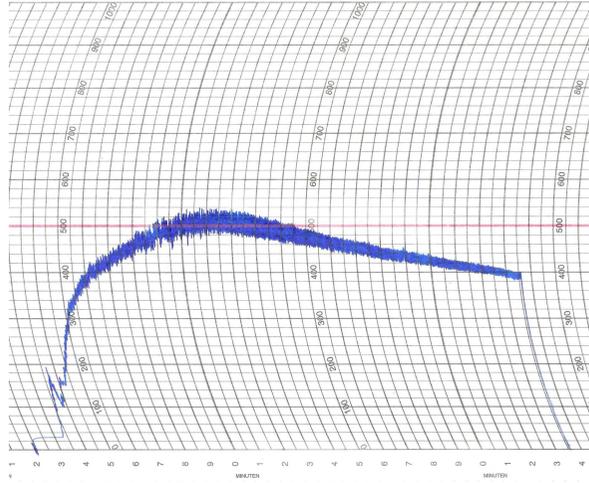


(c)

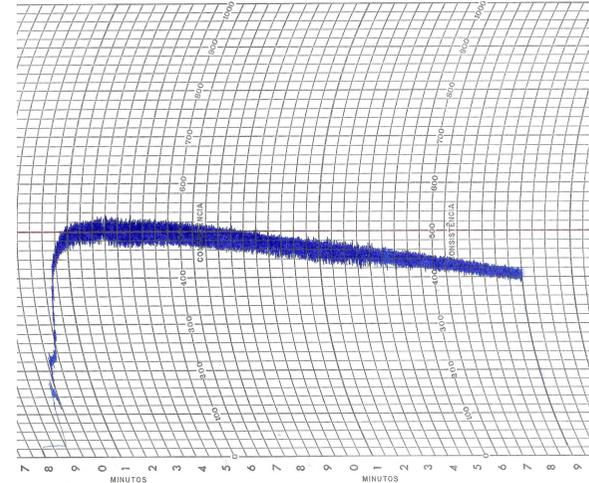


(d)

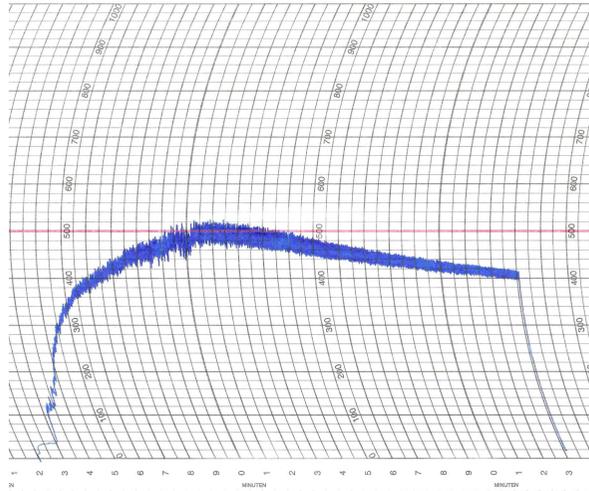
**Anexo BB:** Farinogramas dos ensaios (a) 4, (b) 5, (c) 6 e (d) 7.



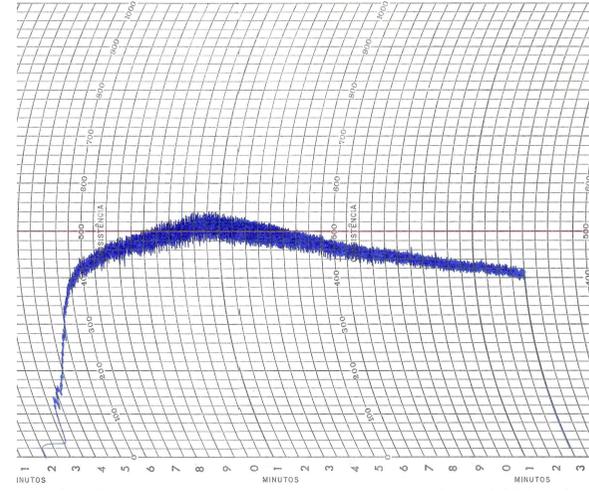
(a)



(b)

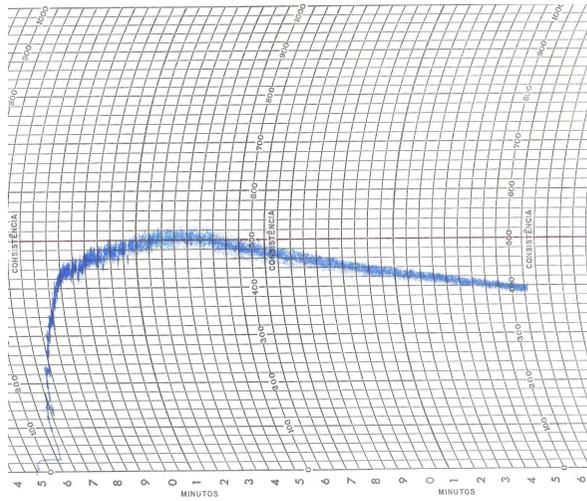


(c)

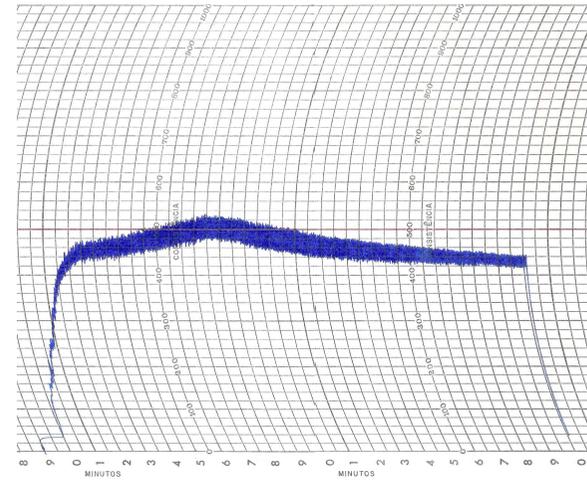


(d)

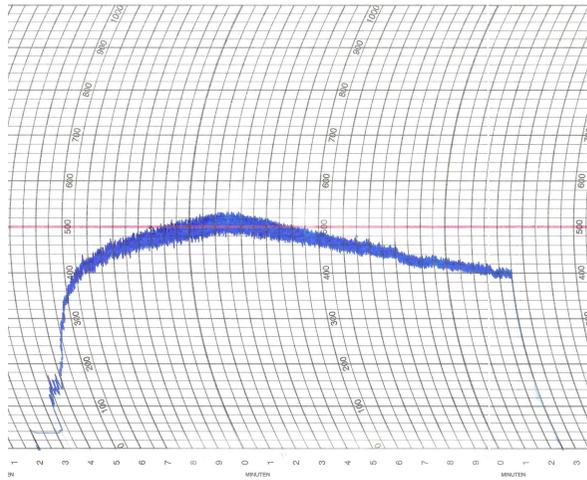
**Anexo BC:** Farinogramas dos ensaios (a) 8, (b) 9, (c) 10 e (d) 11.



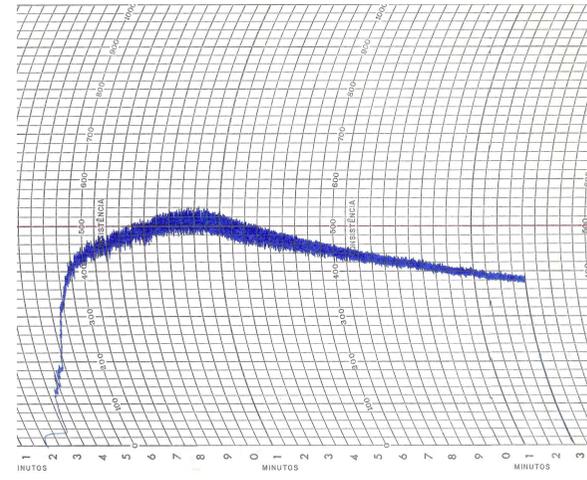
(a)



(b)

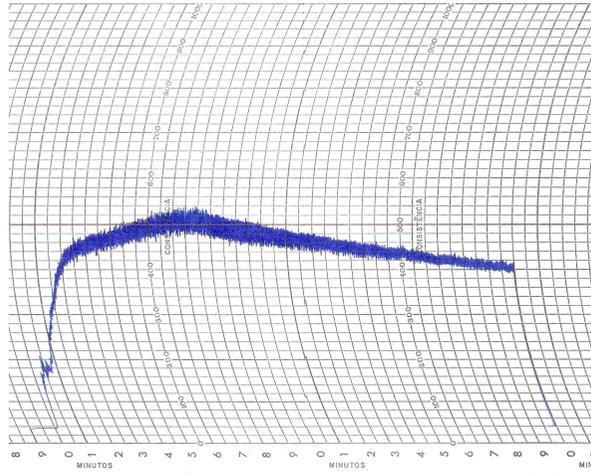


(c)

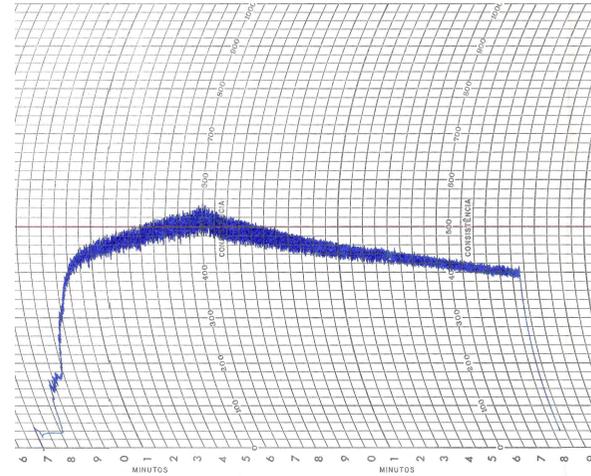


(d)

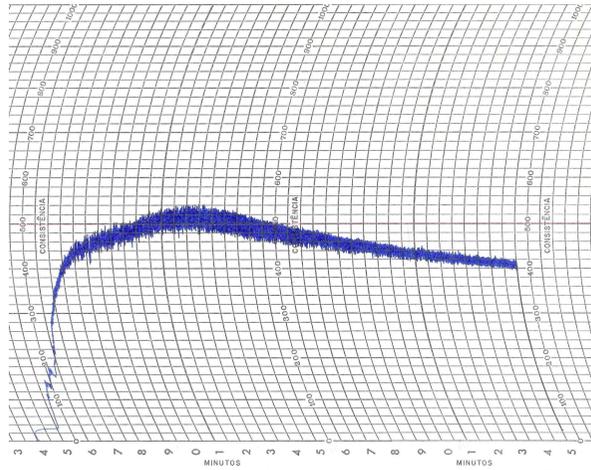
Anexo BD: Farinogramas dos ensaios (a) 12, (b) 13, (c) 14 e (d) 15.



(a)

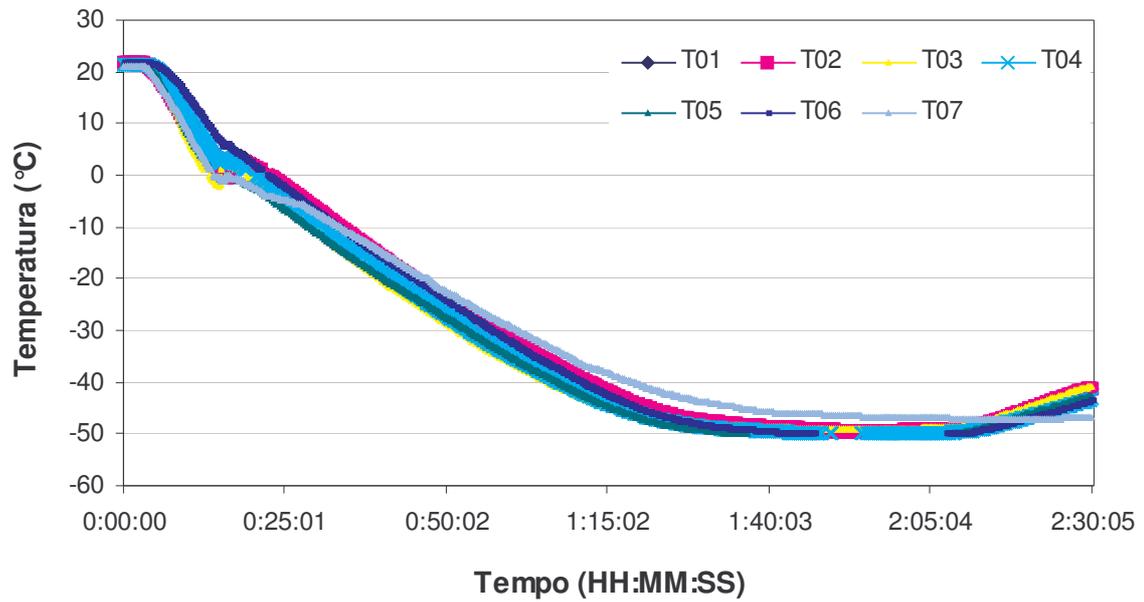


(b)

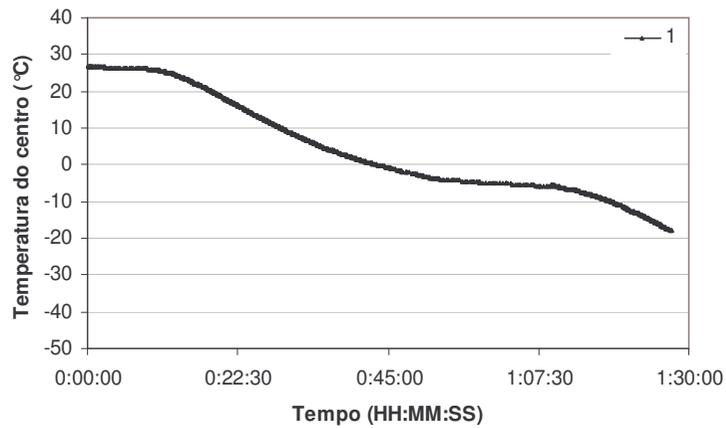


(c)

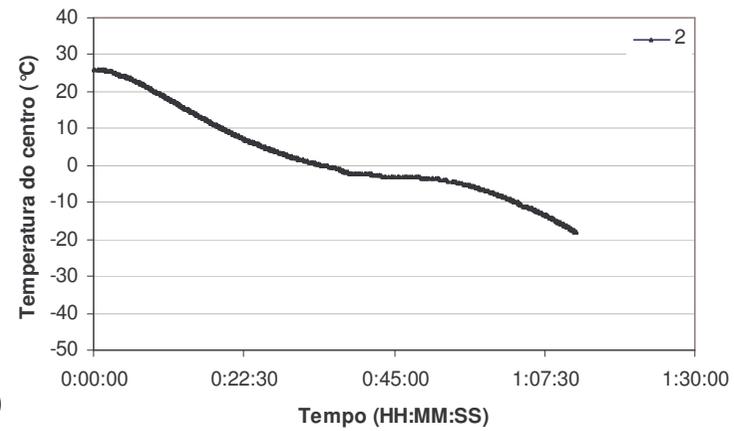
**Anexo BE:** Farinogramas dos ensaios (a) 16, (b) 17 e (c) 18.



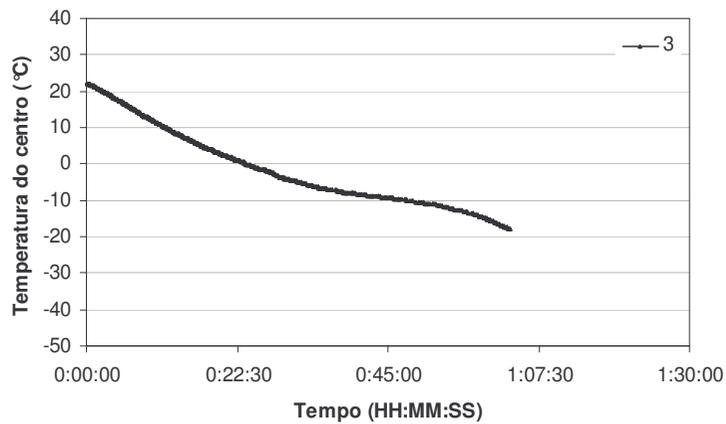
**Anexo C:** Cinética da câmara do congelamento: Histórico das temperaturas do meio registradas pelos termopares inseridos em diversas posições da câmara de congelamento



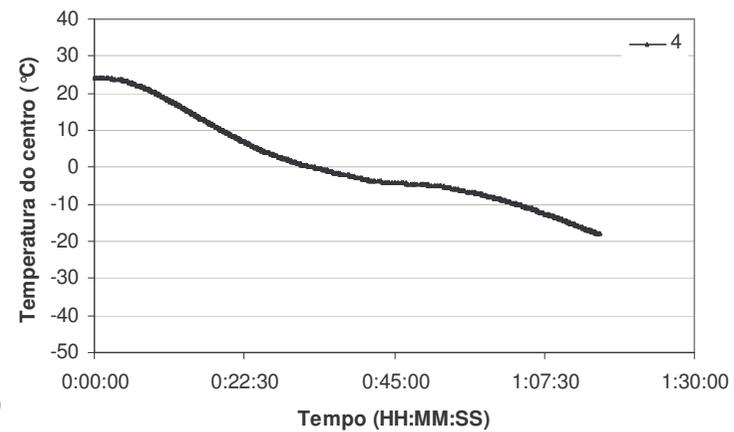
(a)



(b)

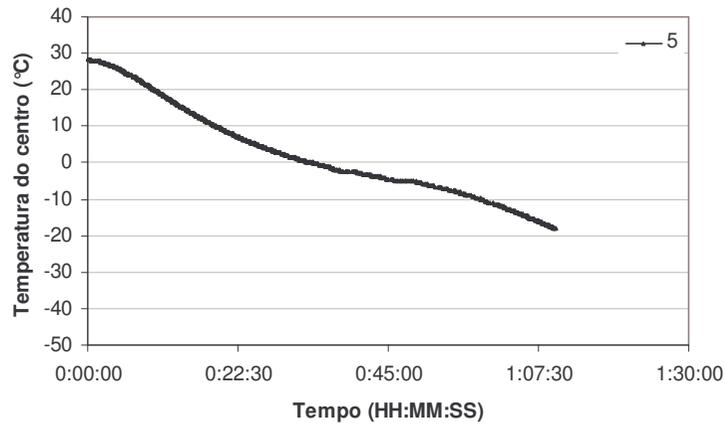


(c)

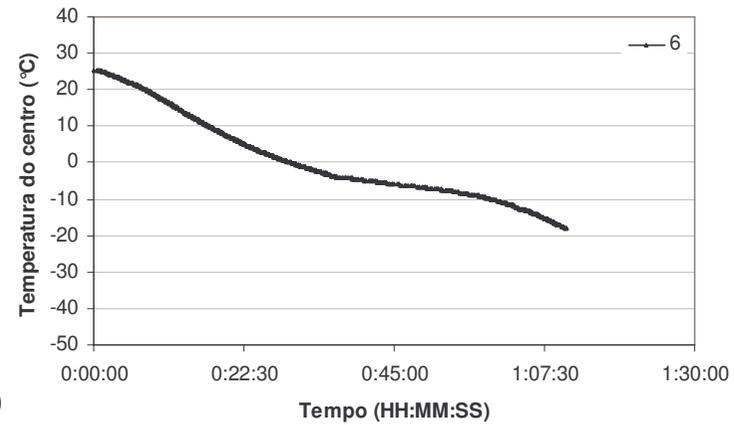


(d)

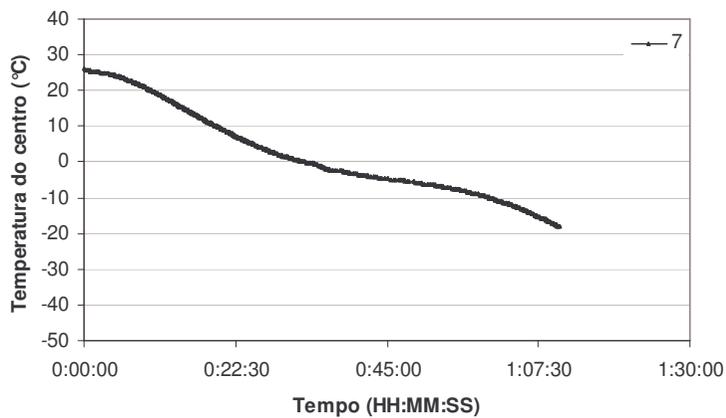
**Anexo DA:** Curvas de congelamento: perfil de temperatura no centro do miolo dos pães pré-assados ao longo do período de congelamento dos ensaios (a) 1, (b) 2, (c) 3 e (d) 4.



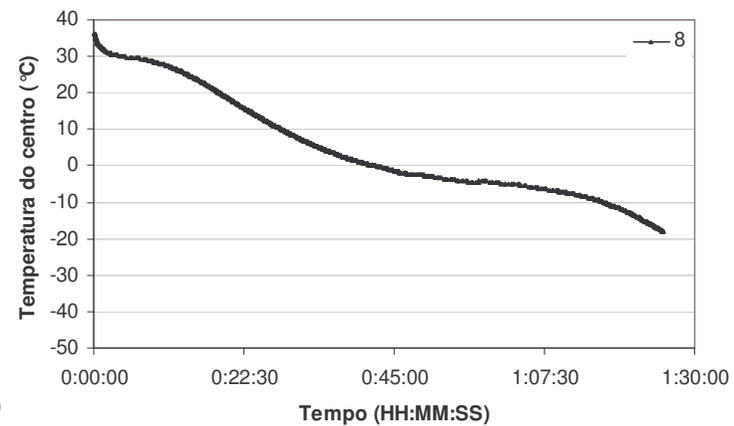
(a)



(b)

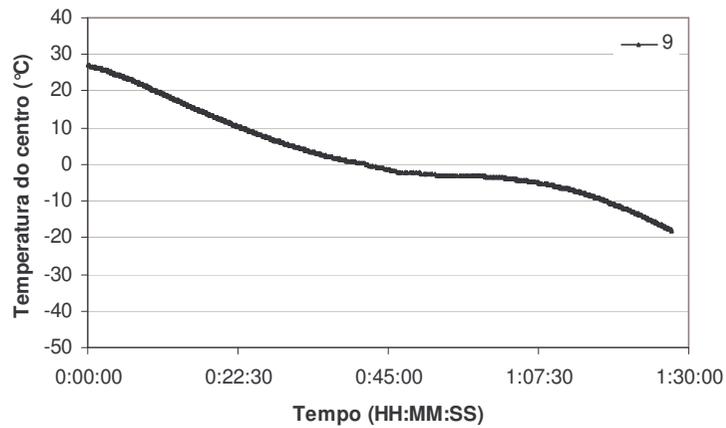


(c)

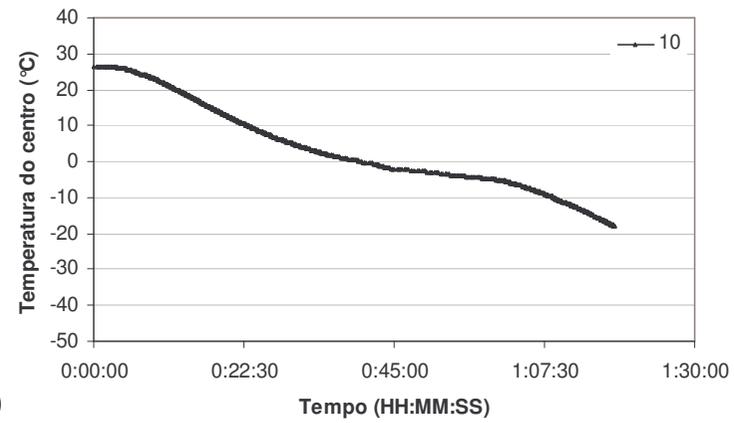


(d)

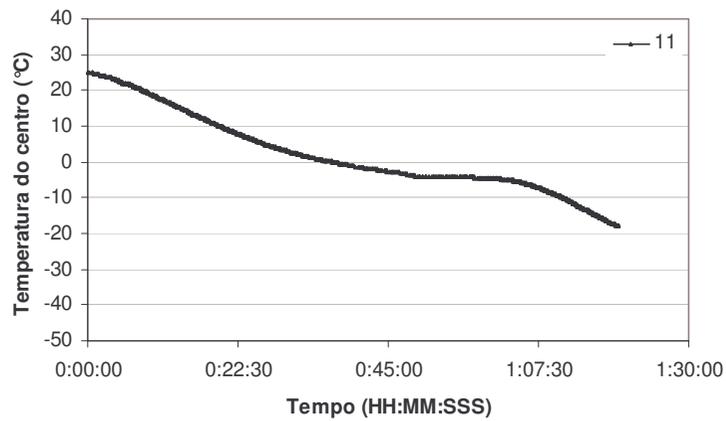
**Anexo DB:** Curvas de congelamento: perfil de temperatura no centro do miolo dos pães pré-assados ao longo do período de congelamento dos ensaios (a) 5, (b) 6, (c) 7 e (d) 8.



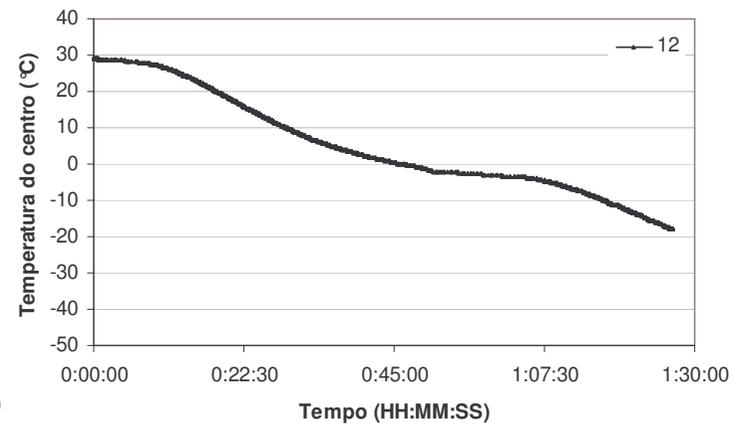
(a)



(b)

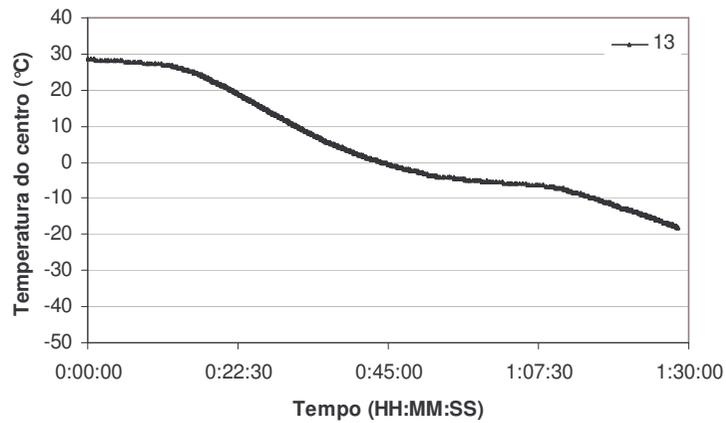


(c)

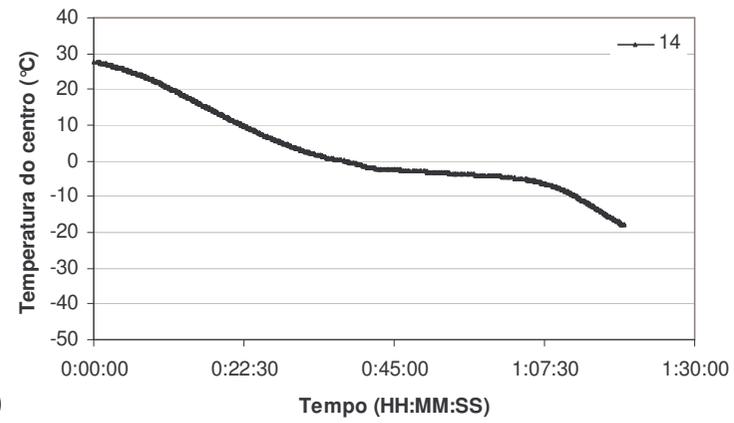


(d)

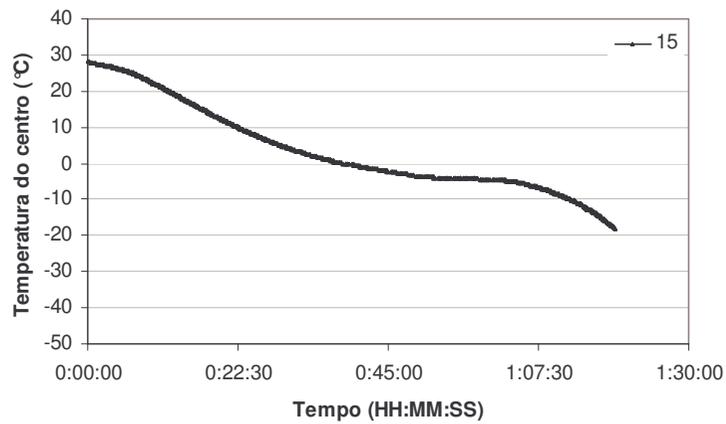
**Anexo DC:** Curvas de congelamento: perfil de temperatura no centro do miolo dos pães pré-assados ao longo do período de congelamento dos ensaios (a) 9, (b) 10, (c) 11 e (d) 12.



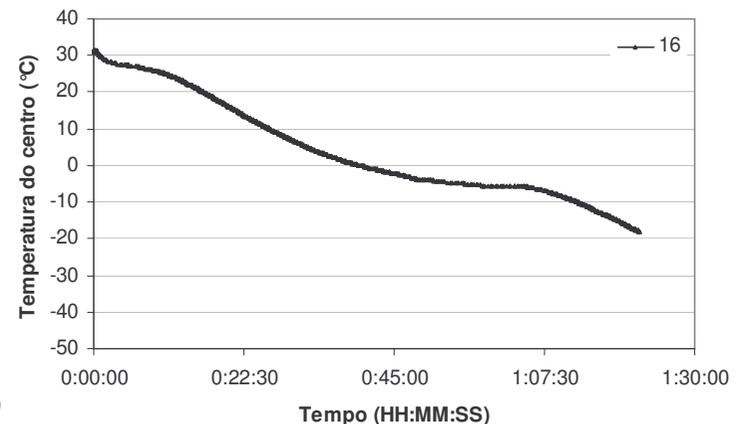
(a)



(b)

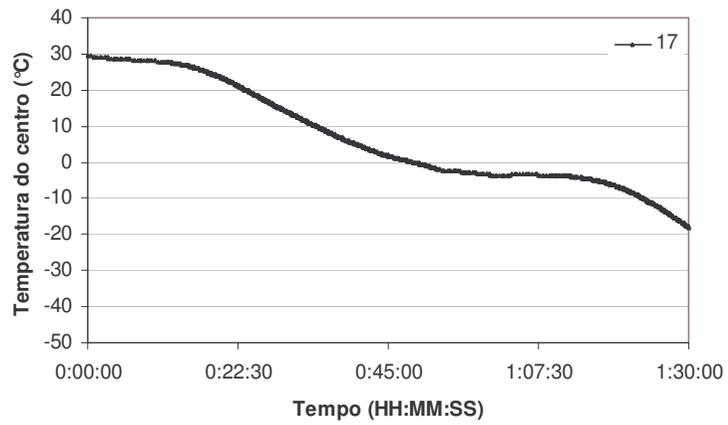


(c)

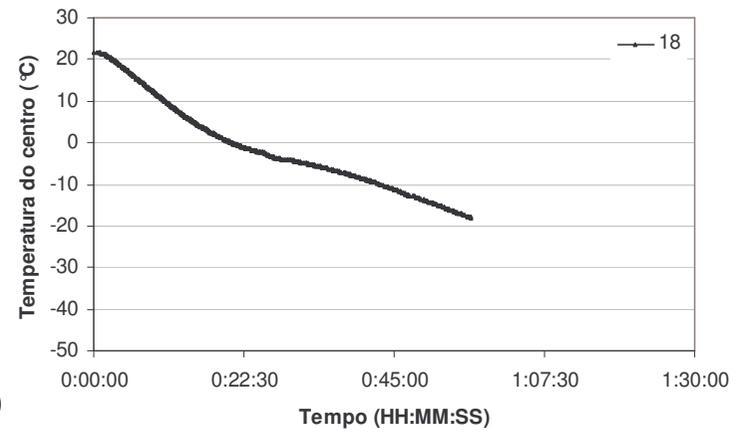


(d)

**Anexo DD:** Curvas de congelamento: perfil de temperatura no centro do miolo dos pães pré-assados ao longo do período de congelamento dos ensaios (a) 13, (b) 14, (c) 15 e (d) 16.



(a)



(b)

**Anexo DE:** Curvas de congelamento: perfil de temperatura no centro do miolo dos pães pré-assados ao longo do período de congelamento dos ensaios (a) 17 e (b) 18.

**Anexo EA:** Resultados da análise do perfil de textura dos pães convencionais após um dia de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coabilidade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	3750,701	0,946	0,604	2266,522	2145,154	0,223
2	5131,868	0,930	0,575	2951,870	2746,397	0,215
3	3369,305	0,692	0,660	2222,580	1537,411	0,278
4	5158,772	0,931	0,528	2719,656	2537,433	0,207
5	2508,403	0,700	0,678	1700,730	1190,602	0,290
6	4030,205	0,961	0,578	2330,784	2239,608	0,228
7	3379,932	0,687	0,634	2142,833	1472,222	0,286
8	4618,631	0,923	0,557	2572,526	2372,812	0,212
9	2662,698	0,684	0,680	1809,488	1238,436	0,290
10	4182,065	0,935	0,541	2258,187	2111,107	0,213
11	3904,146	0,930	0,580	2255,893	2098,226	0,207
12	3419,232	0,685	0,630	2154,337	1476,880	0,276
13	4754,233	0,935	0,581	2759,988	2577,799	0,217
14	3675,569	0,965	0,584	2144,406	2067,973	0,234
15	4977,158	0,935	0,554	2757,010	2578,810	0,207
16	3264,108	0,965	0,593	1929,699	1863,118	0,235
17	2791,299	0,707	0,668	1863,246	1316,698	0,284
18	4551,151	0,935	0,576	2616,698	2449,010	0,219

**Anexo EB:** Resultados da análise do perfil de textura dos pães convencionais após quatro dias de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coabilidade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	5099,010	0,975	0,555	2826,505	2752,984	0,218
2	6766,235	0,944	0,443	3000,200	2837,745	0,172
3	3880,785	0,781	0,596	2316,756	1810,509	0,269
4	6874,983	0,925	0,436	2998,737	2771,776	0,172
5	3078,024	0,855	0,629	1936,118	1653,344	0,290
6	4068,231	0,978	0,536	2176,943	2127,884	0,215
7	3670,545	0,786	0,571	2092,854	1646,837	0,266
8	6241,613	0,913	0,429	2675,118	2441,230	0,168
9	3221,082	0,874	0,636	2046,875	1788,895	0,297
10	5498,310	0,925	0,454	2493,517	2306,997	0,177
11	5120,423	0,954	0,511	2602,546	2478,989	0,197
12	4156,861	0,818	0,538	2238,352	1827,586	0,242
13	6283,790	0,940	0,476	2991,104	2811,726	0,188
14	4576,059	0,973	0,514	2351,102	2287,864	0,210
15	5614,449	0,937	0,469	2628,582	2463,755	0,180
16	4256,182	0,974	0,518	2198,758	2142,534	0,209
17	3222,053	0,919	0,579	1864,295	1707,911	0,258
18	5871,787	0,940	0,469	2751,053	2586,224	0,186

**Anexo EC:** Resultados da análise do perfil de textura dos pães convencionais após sete dias de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coesividade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	6134,782	0,975	0,510	3128,268	3051,104	0,196
2	7339,906	0,946	0,445	3266,967	3089,127	0,172
3	5672,613	0,953	0,475	2696,945	2571,168	0,186
4	6644,183	0,925	0,422	2805,335	2594,110	0,165
5	4932,133	0,967	0,509	2509,084	2428,046	0,201
6	4786,744	0,941	0,484	2316,747	2181,369	0,185
7	5358,262	0,955	0,455	2441,220	2331,303	0,181
8	6766,856	0,927	0,410	2777,616	2576,273	0,160
9	5255,187	0,972	0,502	2639,639	2567,041	0,198
10	5815,075	0,920	0,437	2540,270	2336,183	0,169
11	5279,083	0,951	0,509	2682,314	2551,740	0,196
12	5691,567	0,938	0,454	2579,086	2419,365	0,180
13	6734,734	0,934	0,460	3101,224	2899,628	0,181
14	4899,404	0,959	0,496	2430,304	2331,509	0,202
15	6001,556	0,947	0,449	2693,281	2551,827	0,173
16	4874,167	0,969	0,477	2323,494	2251,361	0,186
17	4971,713	0,953	0,495	2460,521	2344,945	0,193
18	6257,934	0,949	0,455	2841,478	2697,139	0,177

**Anexo ED:** Resultados da análise do perfil de textura dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após um dia de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coesividade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	4836,444	0,913	0,557	2692,523	2456,334	0,206
2	9286,981	0,911	0,488	4434,742	4036,476	0,165
3	6207,174	0,925	0,511	3164,505	2927,550	0,188
4	6130,150	0,874	0,482	2953,839	2582,969	0,172
5	8807,711	0,909	0,457	4007,038	3644,321	0,145
6	5001,511	0,898	0,526	2624,581	2357,348	0,189
7	4898,368	0,923	0,499	2442,531	2255,288	0,192
8	4237,505	0,904	0,519	2196,748	1985,950	0,202
9	4561,567	0,941	0,538	2449,775	2306,070	0,200
10	5879,909	0,895	0,495	2906,569	2600,491	0,176
11	7047,275	0,904	0,514	3612,381	3265,134	0,175
12	7264,102	0,916	0,486	3498,870	3203,219	0,167
13	4694,781	0,913	0,534	2507,024	2289,148	0,198
14	4317,804	0,927	0,523	2250,748	2090,606	0,205
15	5310,551	0,913	0,523	2763,303	2524,709	0,190
16	4796,790	0,911	0,556	2666,753	2428,801	0,193
17	3925,992	0,916	0,551	2161,112	1978,789	0,209
18	4339,969	0,905	0,555	2405,169	2176,479	0,208

**Anexo EE:** Resultados da análise do perfil de textura dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coesividade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	6164,545	0,938	0,469	2887,026	2707,315	0,173
2	8618,156	0,895	0,450	3876,606	3470,072	0,169
3	8778,687	0,929	0,421	3673,438	3410,984	0,158
4	5813,150	0,847	0,402	2330,797	1973,744	0,145
5	7446,506	0,918	0,443	3272,075	3004,281	0,164
6	5662,492	0,893	0,452	2555,177	2282,319	0,166
7	5852,034	0,903	0,441	2579,120	2328,955	0,169
8	4800,238	0,885	0,447	2141,146	1893,268	0,168
9	5788,530	0,957	0,468	2703,093	2585,456	0,171
10	5975,614	0,860	0,409	2440,928	2098,549	0,150
11	7300,022	0,917	0,499	3647,943	3347,363	0,181
12	6311,875	0,909	0,419	2639,184	2399,682	0,158
13	5267,003	0,923	0,478	2513,513	2323,290	0,177
14	4845,765	0,895	0,445	2146,105	1921,080	0,167
15	6334,186	0,909	0,451	2853,283	2594,251	0,173
16	5332,425	0,908	0,473	2521,580	2289,321	0,180
17	4841,196	0,912	0,473	2288,394	2086,692	0,174
18	5632,430	0,895	0,467	2626,068	2350,749	0,173

**Anexo EF:** Resultados da análise do perfil de textura dos dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coesividade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	7017,460	0,939	0,466	3260,456	3065,010	0,170
2	9333,361	0,885	0,428	3986,230	3531,575	0,162
3	9651,542	0,954	0,363	3504,380	3344,618	0,135
4	6007,668	0,832	0,393	2362,618	1963,474	0,141
5	6528,847	0,918	0,455	2962,588	2719,432	0,171
6	6823,646	0,903	0,427	2913,842	2633,210	0,159
7	6467,709	0,800	0,428	2672,487	2099,910	0,179
8	5718,345	0,887	0,389	2224,273	1975,174	0,145
9	6104,095	0,945	0,445	2711,946	2561,597	0,163
10	5368,655	0,843	0,427	2289,294	1932,257	0,153
11	7139,897	0,917	0,457	3266,002	2995,961	0,166
12	6276,825	0,898	0,405	2538,629	2280,348	0,155
13	6563,702	0,921	0,433	2835,366	2614,338	0,160
14	5959,246	0,885	0,408	2418,010	2149,034	0,152
15	6586,450	0,900	0,436	2864,799	2579,721	0,166
16	6755,766	0,909	0,440	2975,625	2703,689	0,164
17	6143,658	0,908	0,423	2598,824	2358,616	0,151
18	5667,587	0,901	0,439	2484,144	2238,788	0,161

**Anexo EG:** Resultados da análise do perfil de textura dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após um dia de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coesividade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	5238,452	0,922	0,571	2988,122	2755,421	0,211
2	5635,519	0,909	0,520	2932,558	2664,275	0,194
3	6011,479	0,944	0,521	3127,353	2949,640	0,187
4	5075,930	0,875	0,465	2349,203	2056,678	0,174
5	4928,394	0,922	0,551	2708,962	2498,218	0,210
6	4829,254	0,903	0,548	2640,559	2384,538	0,204
7	7012,684	0,932	0,486	3404,515	3173,732	0,187
8	4545,291	0,896	0,517	2348,706	2104,591	0,193
9	6267,856	0,922	0,506	3157,508	2912,048	0,177
10	5569,166	0,892	0,497	2768,744	2470,341	0,187
11	4211,150	0,903	0,547	2313,262	2092,424	0,191
12	4512,484	0,906	0,538	2427,573	2199,933	0,204
13	5617,459	0,919	0,519	2914,538	2676,879	0,191
14	6951,189	0,931	0,483	3351,228	3119,280	0,191
15	4848,624	0,914	0,520	2515,236	2296,656	0,199
16	5561,833	0,905	0,542	3012,514	2726,521	0,196
17	6094,356	0,900	0,537	3268,035	2940,185	0,193
18	4285,070	0,904	0,526	2251,121	2035,370	0,193

**Anexo EH:** Resultados da análise do perfil de textura dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após quatro dias de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coesividade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	8790,838	0,943	0,473	4119,652	3874,899	0,180
2	8557,555	0,924	0,467	3993,936	3689,643	0,179
3	23403,066	0,913	0,438	10230,151	9344,997	0,138
4	6138,185	0,881	0,386	2355,715	2076,607	0,144
5	6686,251	0,938	0,452	3024,737	2837,588	0,169
6	5751,859	0,908	0,464	2666,393	2422,920	0,174
7	8110,805	0,946	0,406	3295,958	3118,660	0,161
8	4765,048	0,885	0,436	2080,172	1840,963	0,163
9	7577,777	0,963	0,457	3459,584	3329,953	0,173
10	6530,110	0,889	0,403	2619,012	2332,656	0,150
11	6686,835	0,916	0,466	3114,806	2851,886	0,165
12	5249,110	0,922	0,460	2405,596	2220,502	0,168
13	6113,978	0,906	0,457	2788,247	2524,671	0,169
14	7237,392	0,928	0,424	3064,520	2843,630	0,168
15	5987,452	0,911	0,418	2505,258	2284,559	0,158
16	5895,105	0,920	0,468	2756,157	2535,373	0,178
17	8546,396	0,932	0,454	3896,525	3629,334	0,168
18	5570,140	0,884	0,448	2492,197	2203,334	0,160

**Anexo E1:** Resultados da análise do perfil de textura dos pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados após sete dias de forneamento.

<b>Ensaio</b>	<b>Dureza (gf)</b>	<b>Elasticidade</b>	<b>Coesividade</b>	<b>Gomosidade (gf)</b>	<b>Mastigabilidade (gf)</b>	<b>Resiliência</b>
1	7975,631	0,954	0,478	3812,944	3637,780	0,179
2	9437,200	0,924	0,431	4063,381	3752,784	0,165
3	22620,273	0,863	0,459	10399,388	8966,228	0,160
4	6019,777	0,843	0,386	2316,424	1953,277	0,142
5	6662,855	0,928	0,437	2895,479	2686,620	0,161
6	6815,649	0,887	0,431	2928,544	2597,287	0,162
7	8801,591	0,944	0,399	3515,985	3317,163	0,158
8	5596,246	0,884	0,414	2309,038	2046,110	0,155
9	9716,526	0,949	0,443	4280,568	4053,374	0,167
10	6845,083	0,887	0,416	2839,188	2518,414	0,156
11	7966,711	0,936	0,457	3641,721	3405,437	0,168
12	6235,169	0,905	0,421	2632,201	2383,941	0,156
13	7796,845	0,915	0,429	3345,041	3064,411	0,161
14	8733,228	0,927	0,417	3641,859	3372,667	0,165
15	6162,004	0,893	0,419	2583,494	2308,719	0,160
16	6934,801	0,922	0,431	2990,274	2761,525	0,161
17	10190,634	0,921	0,457	4684,737	4287,875	0,172
18	6723,816	0,856	0,431	2897,230	2482,678	0,155

**ANEXO FA:** Valores dos parâmetros farinográficos experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	ABS			TC			TDM		
				V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)	V Exp (min)	V Pre (min)	DR* (%)	V Exp (min)	V Pre (min)	DR* (%)
1	-1	-1	-1	68,20	68,40	-0,29	2,50	2,92	-16,80	6,50	6,49	0,15
2	+1	-1	-1	71,20	71,68	-0,67	5,50	5,74	-4,36	7,75	8,17	-5,42
3	-1	+1	-1	69,00	69,60	-0,87	2,00	2,42	-21,00	5,75	5,91	-2,78
4	+1	+1	-1	71,60	71,88	-0,39	5,25	5,24	0,19	7,50	7,59	-1,20
5	-1	-1	+1	74,90	75,14	-0,32	3,00	3,38	-12,67	7,25	7,51	-3,59
6	+1	-1	+1	77,30	77,22	0,10	6,25	6,20	0,80	10,00	9,19	8,10
7	-1	+1	+1	74,90	74,94	-0,05	3,25	2,88	11,38	7,25	6,93	4,41
8	+1	+1	+1	75,70	76,02	-0,42	5,50	5,70	-3,64	8,75	8,61	1,60
9	-1,68	0	0	71,10	70,69	0,58	1,75	1,43	18,47	6,00	5,93	1,21
10	+1,68	0	0	74,70	74,35	0,46	6,25	6,17	1,29	8,50	8,75	-2,97
11	0	-1,68	0	73,90	73,09	1,10	5,00	5,01	-0,21	7,75	7,83	-1,00
12	0	+1,68	0	73,00	73,09	-0,12	3,75	4,17	-11,19	6,75	6,85	-1,52
13	0	0	-1,68	69,90	69,28	0,89	5,00	4,20	15,94	7,50	7,08	5,65
14	0	0	+1,68	78,40	78,42	-0,03	5,25	4,98	5,20	8,25	8,79	-6,57
15	0	0	0	73,70	73,85	-0,20	4,50	4,59	-2,00	7,25	7,34	-1,24
16	0	0	0	74,00	73,85	0,20	4,50	4,59	-2,00	7,25	7,34	-1,24
17	0	0	0	74,00	73,85	0,20	5,00	4,59	8,20	7,50	7,34	2,13
18	0	0	0	73,70	73,85	-0,20	4,50	4,59	-2,00	7,50	7,34	2,13

ABS = absorção de água; TC = tempo de chegada; TDM = tempo de desenvolvimento da massa; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\* DR =  $(V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FB:** Valores dos parâmetros farinográficos experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	ITM		
				V Exp (UF)	V Pre (UF)	DR* (%)
1	-1	-1	-1	40,00	48,47	-21,18
2	+1	-1	-1	50,00	59,25	-18,50
3	-1	+1	-1	60,00	58,47	2,55
4	+1	+1	-1	50,00	49,25	1,50
5	-1	-1	+1	40,00	38,47	3,83
6	+1	-1	+1	70,00	69,25	1,07
7	-1	+1	+1	50,00	48,47	3,06
8	+1	+1	+1	60,00	59,25	1,25
9	-1,68	0	0	40,00	39,02	2,45
10	+1,68	0	0	60,00	57,15	4,75
11	0	-1,68	0	60,00	67,80	-13,00
12	0	+1,68	0	70,00	67,80	3,14
13	0	0	-1,68	50,00	48,09	3,83
14	0	0	+1,68	50,00	48,09	3,83
15	0	0	0	80,00	67,80	15,25
16	0	0	0	70,00	67,80	3,14
17	0	0	0	70,00	67,80	3,14
18	0	0	0	60,00	67,80	-13,00

ITM = índice de tolerância à mistura; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas;

DR = desvio relativo.

\*  $DR = (V\ Exp - V\ Pre) / V\ Exp \times 100$

**ANEXO FC:** Valores do tempo de mistura rápida experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	TMR		
				V Exp (min)	V Pre (min)	DR* (%)
1	-1	-1	-1	1,83	1,83	0,00
2	+1	-1	-1	2,93	3,01	-2,91
3	-1	+1	-1	1,60	1,83	-14,38
4	+1	+1	-1	3,18	3,01	5,20
5	-1	-1	+1	1,60	1,45	9,38
6	+1	-1	+1	3,07	2,63	14,33
7	-1	+1	+1	1,35	1,45	-7,81
8	+1	+1	+1	2,32	2,63	-13,61
9	-1,68	0	0	1,32	1,06	19,87
10	+1,68	0	0	3,10	3,04	1,86
11	0	-1,68	0	2,51	2,56	-1,96
12	0	+1,68	0	2,64	2,56	2,88
13	0	0	-1,68	2,25	2,37	-5,31
14	0	0	+1,68	1,41	1,73	-23,16
15	0	0	0	1,91	2,05	-7,61
16	0	0	0	2,05	2,05	0,00
17	0	0	0	2,33	2,05	12,02
18	0	0	0	2,09	2,05	1,68

TMR = tempo de mistura rápida; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\*  $DR = (V\text{ Exp} - V\text{ Pre}) / V\text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FD:** Valores do volume específico dos pães convencionais e do colapso da estrutura dos pães pré-assados experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	VE dos PC			Colapso da estrutura		
				V Exp (mL/g)	V Pre (mL/g)	DR* (%)	V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)
1	-1	-1	-1	7,27	7,32	-0,76	85,00	81,50	4,12
2	+1	-1	-1	5,26	5,60	-6,44	49,50	54,48	-10,06
3	-1	+1	-1	7,46	7,32	1,81	59,50	64,22	-7,93
4	+1	+1	-1	5,65	5,60	0,90	8,00	15,68	-96,00
5	-1	-1	+1	7,78	7,32	5,85	86,50	88,76	-2,61
6	+1	-1	+1	6,18	5,60	9,40	59,50	61,74	-3,76
7	-1	+1	+1	6,99	7,32	-4,79	100,00	105,00	-5,00
8	+1	+1	+1	5,26	5,60	-6,44	46,00	56,46	-22,74
9	-1,68	0	0	8,15	7,91	2,90	96,50	89,53	7,22
10	+1,68	0	0	5,39	5,01	7,04	43,00	25,99	39,56
11	0	-1,68	0	5,95	6,46	-8,61	90,00	90,49	-0,55
12	0	+1,68	0	7,09	6,46	8,86	84,00	71,52	14,85
13	0	0	-1,68	6,01	6,46	-7,52	49,50	37,56	24,12
14	0	0	+1,68	6,46	6,46	-0,03	93,50	77,96	16,62
15	0	0	0	5,84	6,46	-10,65	55,00	57,76	-5,02
16	0	0	0	6,50	6,46	0,58	48,00	57,76	-20,33
17	0	0	0	7,43	6,46	13,03	53,50	57,76	-7,96
18	0	0	0	5,64	6,46	-14,57	45,00	57,76	-28,36

VE = volume específico; PC = pães convencionais; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\*  $DR = (V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FE:** Valores dos parâmetros de cor instrumental dos pães experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	L* da crosta dos P32			C* da crosta dos PC			C* da crosta dos P32		
				V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)
1	-1	-1	-1	62,65	60,97	2,68	28,99	29,57	-2,00	32,52	32,70	-0,55
2	+1	-1	-1	55,43	56,45	-1,84	28,25	28,43	-0,64	30,77	30,54	0,75
3	-1	+1	-1	63,12	62,79	0,52	29,97	30,53	-1,87	33,35	32,70	1,95
4	+1	+1	-1	63,27	62,27	1,58	29,07	29,39	-1,10	29,88	30,54	-2,21
5	-1	-1	+1	60,73	60,97	-0,40	29,17	29,57	-1,37	33,86	33,86	0,00
6	+1	-1	+1	57,79	56,45	2,32	27,94	28,43	-1,75	31,80	31,70	0,31
7	-1	+1	+1	62,55	62,79	-0,38	30,73	30,53	0,65	33,04	33,86	-2,48
8	+1	+1	+1	60,25	62,27	-3,35	29,48	29,39	0,31	32,18	31,70	1,49
9	-1,68	0	0	62,45	62,74	-0,46	30,88	30,36	1,68	34,41	34,02	1,14
10	+1,68	0	0	59,50	58,50	1,68	28,68	28,44	0,83	30,47	30,38	0,28
11	0	-1,68	0	56,68	57,41	-1,28	29,70	29,27	1,44	32,62	32,20	1,29
12	0	+1,68	0	64,72	63,83	1,37	30,67	30,89	-0,71	30,97	32,20	-3,97
13	0	0	-1,68	62,98	60,62	3,75	29,83	29,06	2,58	31,24	31,22	0,05
14	0	0	+1,68	60,26	60,62	-0,60	29,05	29,06	-0,04	33,39	33,18	0,64
15	0	0	0	58,52	60,62	-3,59	30,42	30,08	1,12	31,86	32,20	-1,07
16	0	0	0	59,92	60,62	-1,17	30,02	30,08	-0,20	32,51	32,20	0,95
17	0	0	0	60,76	60,62	0,23	30,04	30,08	-0,13	32,43	32,20	0,71
18	0	0	0	59,52	60,62	-1,85	30,26	30,08	0,59	32,27	32,20	0,22

L\* = luminosidade; C\* = croma; PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; V Exp = valor experimental; V Pre = V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

$$* DR = ( (V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} ) \times 100$$

**ANEXO FF:** Valores dos parâmetros de cor instrumental dos pães experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	h da crosta dos P32			L* do miolo dos PC			L* do miolo dos P32		
				V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)
1	-1	-1	-1	66,99	66,52	0,70	72,52	72,30	0,30	70,89	70,84	0,07
2	+1	-1	-1	64,74	65,28	-0,83	63,92	64,08	-0,25	63,53	62,72	1,27
3	-1	+1	-1	67,87	67,60	0,40	72,74	72,30	0,60	71,73	71,78	-0,07
4	+1	+1	-1	69,53	68,84	0,99	64,21	64,08	0,20	64,00	63,66	0,53
5	-1	-1	+1	66,87	66,52	0,52	70,37	70,30	0,10	71,94	70,84	1,53
6	+1	-1	+1	66,07	65,28	1,20	62,58	62,08	0,80	63,56	62,72	1,32
7	-1	+1	+1	67,49	67,60	-0,16	69,82	70,30	-0,69	71,80	71,78	0,03
8	+1	+1	+1	67,74	68,84	-1,62	63,08	62,08	1,59	62,76	63,66	-1,43
9	-1,68	0	0	66,48	67,06	-0,87	74,67	74,10	0,76	74,67	75,05	-0,51
10	+1,68	0	0	67,73	67,06	0,99	60,15	60,28	-0,21	61,01	61,39	-0,62
11	0	-1,68	0	64,94	65,11	-0,26	66,63	67,19	-0,84	63,84	65,93	-3,27
12	0	+1,68	0	69,61	69,01	0,86	67,79	67,19	0,89	67,43	67,51	-0,12
13	0	0	-1,68	67,73	67,06	0,99	68,71	68,87	-0,24	66,78	66,72	0,09
14	0	0	+1,68	66,97	67,06	-0,13	65,05	65,51	-0,70	66,55	66,72	-0,26
15	0	0	0	65,99	67,06	-1,62	67,53	67,19	0,50	66,63	66,72	-0,14
16	0	0	0	67,21	67,06	0,22	66,12	67,19	-1,62	67,19	66,72	0,70
17	0	0	0	67,06	67,06	0,00	66,66	67,19	-0,80	66,56	66,72	-0,24
18	0	0	0	66,09	67,06	-1,47	66,85	67,19	-0,51	67,39	66,72	0,99

L\* = luminosidade; h = ângulo de tonalidade; PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; V Exp = valor experimental; V Pre = V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\* DR =  $(V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FG:** Valores dos parâmetros de cor instrumental dos pães experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	L* do miolo dos P62			C* do miolo dos PC			C* do miolo dos P32		
				V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)
1	-1	-1	-1	70,72	69,95	1,09	15,08	14,62	3,05	16,79	17,05	-1,55
2	+1	-1	-1	61,24	60,47	1,26	17,21	16,70	2,96	17,82	18,03	-1,18
3	-1	+1	-1	72,63	71,59	1,43	14,50	14,62	-0,83	16,50	16,33	1,03
4	+1	+1	-1	64,62	64,31	0,48	16,75	16,70	0,30	17,59	17,31	1,59
5	-1	-1	+1	71,67	71,67	0,00	14,86	14,62	1,62	16,49	16,49	0,00
6	+1	-1	+1	61,86	62,19	-0,53	16,48	16,70	-1,33	17,35	17,47	-0,69
7	-1	+1	+1	69,43	69,87	-0,63	14,56	14,62	-0,41	15,94	15,77	1,07
8	+1	+1	+1	62,51	62,59	-0,13	16,91	16,70	1,24	16,69	16,75	-0,36
9	-1,68	0	0	74,27	74,84	-0,77	14,08	13,91	1,20	16,16	15,84	2,01
10	+1,68	0	0	60,63	60,75	-0,19	17,59	17,41	1,03	17,92	17,48	2,43
11	0	-1,68	0	63,90	64,39	-0,77	15,94	15,66	1,76	18,26	17,94	1,73
12	0	+1,68	0	65,88	66,11	-0,34	15,12	15,66	-3,57	16,38	16,73	-2,16
13	0	0	-1,68	65,59	66,72	-1,72	15,57	15,66	-0,58	16,63	17,13	-3,01
14	0	0	+1,68	67,33	66,72	0,91	15,07	15,66	-3,92	15,71	16,19	-3,05
15	0	0	0	67,11	66,72	0,58	15,82	15,66	1,01	17,21	16,66	3,20
16	0	0	0	66,61	66,72	-0,17	15,39	15,66	-1,75	16,10	16,66	-3,48
17	0	0	0	66,73	66,72	0,01	15,08	15,66	-3,85	16,58	16,66	-0,48
18	0	0	0	66,39	66,72	-0,50	15,83	15,66	1,07	16,94	16,66	1,65

L\* = luminosidade; C\* = croma; PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

$$* DR = (V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$$

**ANEXO FH:** Valores dos parâmetros de cor instrumental dos pães experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	h do miolo dos PC			h do miolo dos P32			h do miolo dos P62		
				V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)
1	-1	-1	-1	84,02	85,22	-1,43	82,47	82,45	0,02	81,94	81,69	0,31
2	+1	-1	-1	75,60	75,70	-0,13	74,61	74,43	0,24	74,37	73,67	0,94
3	-1	+1	-1	85,41	85,22	0,22	82,62	82,45	0,21	83,34	83,63	-0,35
4	+1	+1	-1	75,83	75,70	0,17	74,57	74,43	0,19	75,77	75,61	0,21
5	-1	-1	+1	84,71	85,22	-0,60	82,93	83,43	-0,60	82,85	82,57	0,34
6	+1	-1	+1	76,02	75,70	0,42	75,21	75,41	-0,27	74,20	74,55	-0,47
7	-1	+1	+1	85,47	85,22	0,29	82,83	83,43	-0,72	81,78	82,75	-1,19
8	+1	+1	+1	75,55	75,70	-0,20	75,17	75,41	-0,32	74,56	74,73	-0,23
9	-1,68	0	0	90,57	89,95	0,69	87,62	87,20	0,48	87,13	86,72	0,47
10	+1,68	0	0	73,66	73,94	-0,37	73,67	73,71	-0,06	73,02	73,23	-0,29
11	0	-1,68	0	79,04	79,65	-0,77	76,15	77,40	-1,64	75,56	76,09	-0,70
12	0	+1,68	0	80,33	79,65	0,85	78,99	77,40	2,01	78,59	77,87	0,91
13	0	0	-1,68	79,94	79,65	0,36	78,49	78,11	0,49	77,78	78,90	-1,44
14	0	0	+1,68	79,64	79,65	-0,01	81,32	79,75	1,93	80,22	78,90	1,64
15	0	0	0	79,40	79,65	-0,31	78,27	78,93	-0,84	78,52	78,14	0,48
16	0	0	0	79,63	79,65	-0,03	79,23	78,93	0,38	78,14	78,14	0,00
17	0	0	0	80,49	79,65	1,04	78,31	78,93	-0,79	78,08	78,14	-0,08
18	0	0	0	79,37	79,65	-0,35	78,25	78,93	-0,87	77,80	78,14	-0,44

h = ângulo de tonalidade; PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\*  $DR = (V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FI:** Valores dos escores da aceitação dos atributos sensoriais dos pães experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Cor do miolo dos PC			Cor do miolo dos P32			Cor do miolo dos P62		
				V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)
1	-1	-1	-1	6,97	6,46	7,32	6,81	6,82	-0,20	6,97	6,88	1,32
2	+1	-1	-1	7,67	7,80	-1,74	7,06	7,16	-1,38	7,57	7,58	-0,11
3	-1	+1	-1	7,63	7,12	6,72	6,87	6,82	0,74	6,61	6,66	-0,74
4	+1	+1	-1	7,29	7,74	-6,11	7,22	7,16	0,81	7,54	7,36	2,42
5	-1	-1	+1	7,60	7,04	7,37	6,64	6,60	0,55	6,61	6,58	0,39
6	+1	-1	+1	7,47	7,22	3,35	7,30	7,38	-1,05	7,39	7,28	1,54
7	-1	+1	+1	7,50	7,70	-2,67	6,59	6,60	-0,09	6,66	6,36	4,46
8	+1	+1	+1	7,28	7,16	1,62	7,42	7,38	0,53	7,06	7,06	-0,06
9	-1,68	0	0	7,20	6,45	10,42	6,26	6,26	-0,06	5,64	5,78	-2,47
10	+1,68	0	0	7,24	7,12	1,56	7,27	7,20	0,95	6,88	6,96	-1,11
11	0	-1,68	0	7,69	7,30	5,16	7,25	7,27	-0,28	7,40	7,48	-1,15
12	0	+1,68	0	7,73	7,80	-0,89	7,36	7,27	1,27	6,91	7,12	-2,98
13	0	0	-1,68	7,75	7,55	2,58	6,94	7,02	-1,15	7,53	7,55	-0,33
14	0	0	+1,68	7,53	7,55	-0,27	7,16	7,02	1,97	6,86	7,05	-2,78
15	0	0	0	7,78	7,55	2,93	7,24	7,27	-0,38	7,21	7,30	-1,22
16	0	0	0	7,62	7,55	0,89	7,33	7,27	0,86	7,39	7,30	1,27
17	0	0	0	7,37	7,55	-2,49	7,19	7,27	-1,06	7,39	7,30	1,20
18	0	0	0	7,36	7,55	-2,57	7,28	7,27	0,15	7,34	7,30	0,58

PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\* DR =  $(V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FJ:** Valores dos escores da aceitação dos atributos sensoriais dos pães experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Aparência do miolo dos PC			Aparência do miolo dos P32			Aparência do miolo dos P62		
				V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)
1	-1	-1	-1	6,26	6,59	-5,19	6,61	6,67	-0,86	6,36	6,53	-2,66
2	+1	-1	-1	7,50	7,45	0,67	6,72	6,73	-0,17	7,46	7,33	1,70
3	-1	+1	-1	7,43	7,27	2,20	7,00	7,01	-0,14	6,67	6,53	2,05
4	+1	+1	-1	7,38	7,53	-2,00	6,75	7,07	-4,74	7,69	7,33	4,63
5	-1	-1	+1	7,33	7,25	1,14	6,94	6,73	3,02	6,52	6,09	6,53
6	+1	-1	+1	7,32	7,55	-3,09	7,27	7,39	-1,61	7,00	6,89	1,57
7	-1	+1	+1	7,07	7,17	-1,46	6,53	6,63	-1,51	6,29	6,09	3,11
8	+1	+1	+1	7,14	6,87	3,77	7,23	7,29	-0,89	6,69	6,89	-2,92
9	-1,68	0	0	6,63	6,55	1,20	6,48	6,56	-1,19	5,42	5,67	-4,71
10	+1,68	0	0	7,03	7,02	0,06	7,42	7,17	3,47	6,91	7,02	-1,56
11	0	-1,68	0	7,39	7,44	-0,69	7,00	6,99	0,16	6,29	6,91	-9,93
12	0	+1,68	0	7,83	7,44	5,02	7,48	7,19	3,93	7,18	6,91	3,78
13	0	0	-1,68	7,39	7,44	-0,69	6,94	6,77	2,32	7,03	7,28	-3,59
14	0	0	+1,68	7,38	7,44	-0,78	7,00	7,01	-0,14	6,23	6,54	-5,00
15	0	0	0	7,50	7,44	0,80	6,97	7,09	-1,73	6,76	6,91	-2,26
16	0	0	0	7,26	7,44	-2,41	7,18	7,09	1,28	6,94	6,91	0,42
17	0	0	0	7,70	7,44	3,38	7,06	7,09	-0,36	7,31	6,91	5,41
18	0	0	0	7,22	7,44	-3,02	6,97	7,09	-1,74	6,86	6,91	-0,77

PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\*  $DR = (V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FK:** Valores dos escores da aceitação dos atributos sensoriais dos pães experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Textura dos PC			Textura dos P62			Intenção de compra dos PC		
				V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp	V Pre	DR* (%)	V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)
1	-1	-1	-1	6,06	6,40	-5,63	6,53	6,65	-1,87	29,41	36,52	-24,17
2	+1	-1	-1	7,03	7,12	-1,31	6,34	6,45	-1,69	77,78	74,36	4,39
3	-1	+1	-1	6,87	7,00	-1,94	5,14	5,73	-11,50	56,67	55,16	2,66
4	+1	+1	-1	6,09	6,48	-6,43	7,43	7,37	0,79	55,88	61,32	-9,73
5	-1	-1	+1	7,40	7,26	1,89	6,79	6,65	2,03	70,00	63,86	8,77
6	+1	-1	+1	7,06	7,18	-1,72	7,27	6,45	11,31	76,47	77,26	-1,03
7	-1	+1	+1	7,23	7,42	-2,58	5,54	5,73	-3,38	63,33	66,02	-4,24
8	+1	+1	+1	6,19	6,10	1,52	7,22	7,37	-2,05	55,56	47,74	14,07
9	-1,68	0	0	7,13	7,02	1,56	5,97	5,42	9,17	46,67	45,03	3,50
10	+1,68	0	0	6,65	6,52	1,95	6,39	6,64	-3,78	58,82	61,48	-4,52
11	0	-1,68	0	7,39	7,25	1,82	6,66	6,88	-3,33	72,22	68,69	4,88
12	0	+1,68	0	7,07	6,85	3,05	7,09	6,88	3,00	63,33	59,55	5,98
13	0	0	-1,68	6,94	6,57	5,42	6,72	6,65	1,04	63,89	58,33	8,69
14	0	0	+1,68	6,85	6,97	-1,73	6,57	6,65	-1,23	64,71	69,91	-8,04
15	0	0	0	6,81	6,77	0,52	5,85	6,03	-3,10	63,89	64,12	-0,36
16	0	0	0	6,82	6,77	0,78	5,64	6,03	-6,98	64,71	64,12	0,91
17	0	0	0	6,87	6,77	1,41	6,00	6,03	-0,50	60,00	64,12	-6,87
18	0	0	0	6,75	6,77	-0,30	6,31	6,03	4,50	58,33	64,12	-9,92

PC = pães convencionais; P32 = pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados; P62 = pães pré-assados com 62 dias de estocagem congelada e reassados; V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\* DR =  $(V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FL:** Valores da umidade do miolo dos pães convencionais ao longo da vida de prateleira experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Umidade após 1 dia			Umidade após 4 dias			Umidade após 7 dias		
				V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)	V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)	V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)
1	-1	-1	-1	41,98	42,59	-1,46	33,92	35,10	-3,48	31,63	32,87	-3,92
2	+1	-1	-1	43,40	43,63	-0,52	38,53	38,98	-1,17	35,90	36,35	-1,25
3	-1	+1	-1	42,44	42,59	-0,36	36,58	36,54	0,11	33,32	32,87	1,35
4	+1	+1	-1	43,81	43,63	0,42	36,49	37,54	-2,88	36,00	36,35	-0,97
5	-1	-1	+1	44,67	44,33	0,77	37,39	37,32	0,19	34,42	34,39	0,09
6	+1	-1	+1	44,50	45,37	-1,94	40,03	41,20	-2,92	37,73	37,87	-0,37
7	-1	+1	+1	44,55	44,33	0,50	39,72	38,76	2,42	34,88	34,39	1,40
8	+1	+1	+1	45,29	45,37	-0,16	41,29	39,76	3,71	38,71	37,87	2,17
9	-1,68	0	0	42,55	43,11	-1,31	35,19	36,10	-2,58	31,86	32,44	-1,83
10	+1,68	0	0	44,76	44,85	-0,20	39,90	40,20	-0,76	37,59	38,30	-1,88
11	0	-1,68	0	43,97	43,98	-0,02	38,82	38,15	1,73	35,79	35,37	1,17
12	0	+1,68	0	43,84	43,98	-0,31	37,84	38,15	-0,82	34,82	35,37	-1,58
13	0	0	-1,68	43,12	42,52	1,40	36,98	36,28	1,88	35,39	34,09	3,67
14	0	0	+1,68	45,78	45,44	0,75	38,34	40,02	-4,37	36,27	36,65	-1,04
15	0	0	0	43,27	43,98	-1,63	39,29	38,15	2,90	35,50	35,37	0,37
16	0	0	0	45,68	43,98	3,73	39,34	38,15	3,02	37,43	35,37	5,50
17	0	0	0	43,78	43,98	-0,45	38,09	38,15	-0,16	34,41	35,37	-2,79
18	0	0	0	44,19	43,98	0,48	38,91	38,15	1,95	35,01	35,37	-1,03

V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\* DR =  $(V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$

**ANEXO FM:** Valores da umidade do miolo dos pães pré-assados com 32 dias de estocagem congelada e reassados ao longo da vida de prateleira experimentais, previstos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

Ensaio	FT (%)	AR (%)	LBG (%)	Umidade após 1 dia			Umidade após 4 dias			Umidade após 7 dias		
				V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)	V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)	V Exp (%)	V Pre (%)	DR* (%)
1	-1	-1	-1	44,01	44,22	-0,48	39,27	38,02	3,18	35,56	35,12	1,24
2	+1	-1	-1	46,35	46,84	-1,06	37,21	40,48	-8,79	33,54	34,38	-2,50
3	-1	+1	-1	44,51	44,22	0,65	37,35	38,02	-1,79	30,79	33,62	-9,19
4	+1	+1	-1	46,80	46,84	-0,09	42,68	40,48	5,15	38,52	38,84	-0,83
5	-1	-1	+1	46,69	47,18	-1,05	40,74	42,40	-4,07	35,86	38,52	-7,42
6	+1	-1	+1	48,25	48,00	0,52	46,13	44,86	2,75	37,12	37,78	-1,78
7	-1	+1	+1	47,63	47,18	0,94	43,91	42,40	3,44	37,58	37,02	1,49
8	+1	+1	+1	47,12	48,00	-1,87	44,78	44,86	-0,18	41,03	42,24	-2,95
9	-1,68	0	0	44,32	45,11	-1,79	40,03	40,86	-2,08	37,41	36,89	1,40
10	+1,68	0	0	47,93	48,01	-0,16	44,37	45,00	-1,42	40,27	40,65	-0,95
11	0	-1,68	0	46,96	46,56	0,85	36,70	38,72	-5,49	36,02	34,73	3,59
12	0	+1,68	0	46,03	46,56	-1,15	40,55	38,72	4,52	38,57	37,21	3,51
13	0	0	-1,68	45,21	44,83	0,85	40,16	39,25	2,27	35,46	34,24	3,43
14	0	0	+1,68	48,80	48,29	1,04	46,59	46,61	-0,05	41,42	39,96	3,52
15	0	0	0	46,93	46,56	0,79	43,03	42,93	0,23	39,69	38,77	2,32
16	0	0	0	46,66	46,56	0,21	42,28	42,93	-1,54	38,47	38,77	-0,78
17	0	0	0	46,59	46,56	0,06	42,16	42,93	-1,83	39,98	38,77	3,03
18	0	0	0	47,37	46,56	1,71	44,46	42,93	3,44	39,02	38,77	0,64

V Exp = valor experimental; V Pre = valor previsto pelo modelo com as variáveis codificadas; DR = desvio relativo.

\* DR =  $(V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$