

PATRÍCIA MATOS SCHEUER

QUALIDADE DE PÃES INTEGRAIS ELABORADOS COM  
SUBSTITUTO DE GORDURA

Florianópolis

2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE  
ALIMENTOS

Patrícia Matos Scheuer

QUALIDADE DE PÃES INTEGRAIS ELABORADOS COM  
SUBSTITUTO DE GORDURA

Tese submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Ciência dos Alimentos  
da Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
Doutor em Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Alicia de Francisco de Casas  
Coorientadora: Dra. Martha Zavariz de Miranda

Florianópolis

2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Scheuer, Patrícia Matos

Qualidade de pães integrais elaborados com substituto de gordura / Patrícia Matos Scheuer ; orientadora, Alícia de Francisco de Casas ; coorientadora, Martha Zavariz de Miranda. - Florianópolis, SC, 2015.  
295 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos.

Inclui referências

1. Ciência dos Alimentos. 2. Pães elaborados com farinha de trigo integral. 3. Substituto de gordura. 4. Análise de imagem. 5. Textura instrumental e sensorial. I. Casas, Alícia de Francisco de. II. Miranda, Martha Zavariz de. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. IV. Título.

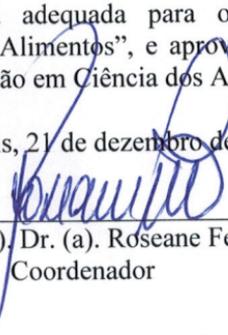
# QUALIDADE DE PÃES INTEGRAIS ELABORADOS COM SUBSTITUTO DE GORDURA

Por

**Patrícia Matos Scheuer**

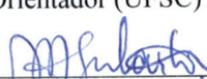
Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de "**Doutorado** em Ciência dos Alimentos", e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos.

Florianópolis, 21 de dezembro de 2015

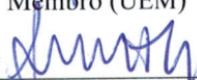
  
\_\_\_\_\_  
Prof. (a) Dr. (a). Roseane Fett  
Coordenador

**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.(a). Dr.(a). Alicia de Francisco de Casas,  
Orientador (UFSC)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.(a). Dr.(a). Marcia Arocha Gularte,  
Membro (UFPEL)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.(a). Dr.(a). Antonio Roberto Giriboni Monteiro,  
Membro (UEM)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.(a). Dr.(a). André Wüst Zibetti,  
Membro (UFSC)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.(a). Dr.(a). Edna Regina Amante,  
Membro (UFSC)



Este trabalho é dedicado aos meus pais,  
pelo amor, estímulo e compreensão.



## AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que contribuíram para a concretização de mais um objetivo de minha vida, meu sincero agradecimento, em especial:

À guiança espiritual divina!

À minha família, pelo apoio, incentivo e amor! Em especial, meu pai, minha mãe, meus irmãos e ao Heitor, pelos momentos lúdicos de criança! Ao meu namorado, namorado, homem amado, Jorge Augusto, pelas ações incondicionais.

À Professora Dra. Alicia de Francisco de Casas, pela orientação, vaga concedida, amizade, disponibilidade e apoio.

À Pesquisadora Dra. Martha Zavariz de Miranda, pela co-orientação, pela disponibilidade incomensurável, amizade e por acreditar em meus potenciais.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pelos conhecimentos adquiridos durante os anos de graduação e pós-graduação.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) pelo incentivo e por possibilitar afastamento doutorado.

À FAPESC, por acreditar na proposta e subsidiar esse projeto.

À Embrapa Trigo por permitir a realização das análises reológicas deste projeto no Laboratório de Qualidade.

À Agrária pela doação das farinhas e à *Dutch Starches International* pela doação do substituto de gordura.

Ao Laboratório de Cereais da Universidade de Passo Fundo, representado pelo Professor Dr. Luiz Carlos Gutkoski, pela disponibilidade no uso do RVA.

Ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da UFSC pelas imagens feitas no microscópio eletrônico de varredura.

Ao Departamento de Engenharia de Alimentos da UFSC, especialmente Professores Jorge Ninow e Marco Di Luccio, pelo uso do texturômetro.

À Pihetra e à Ellen, do Laboratório de Qualidade da Embrapa Trigo pelo imenso apoio e receptividade.

Ao Professor Dr. Paulo Ogliari, *in memoriam*.

Ao Professor Dr. André Wüst Zibetti, pela disponibilidade em contribuir com os conhecimentos de Estatística.

Aos membros da banca pelo aceite em participar e contribuir com esse trabalho.

Ao técnico administrativo Sérgio Souza, pela ajuda, amizade e incentivo.

Aos funcionários da UFSC que contribuíram com a organização e limpeza

dos ambientes coletivos e pela presteza amistosa.

Aos servidores do IFSC pelo apoio incondicional, às panificats, à Mariana Kilpp pela ajuda na elaboração dos pães e a todos os colegas, em especial aos que participaram da capacitação para formação de analistas sensoriais.

À Márcia e Carlos Oliver, pelo apoio e auxílio financeiro.

A todos do CERES, de 2008 a 2015, pela receptividade, ajuda, dicas, compartilhamento, amizade.

À Bruna Mattioni pelo compartilhamento dos conhecimentos práticos em laboratório, pelas dicas valiosas, pelo apoio nos momentos de lágrimas e desabafo, pelas risadas, pela parceria nas publicações e pela amizade preciosa.

À Iara Regina dos Santos pela dedicação, capricho e parceria com as análises de composição centesimal dos pães.

À Valéria Limberger pela amizade e apoio incondicional durante o período de pós-graduação.

À Tatiana Oro pelo apoio durante a estada em Passo Fundo e amizade consolidada.

A todos os amigos dessa jornada pela amizade e motivação.

A todos que cuidaram de mim de alguma forma: osteopata Wagner, fisioterapeuta Renata do pilates Renata, psiquiatra José Hamilton, terapeuta floral Cler, terapeuta sistêmica Kity.

A todos acima e àqueles que não mencionei, mas que contribuíram para a realização deste trabalho, meus agradecimentos.

Muito agradecida!

“There are people in the world so hungry, that God cannot appear to them except in the form of bread.”

(Mahatma Gandhi)



SCHEUER, Patrícia Matos. **Qualidade de pães integrais elaborados com substituto de gordura**. 2015. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

## RESUMO

O trigo é atualmente a maior *commodity* primária, estando entre os três cereais mais cultivados no mundo. Constitui a base da alimentação humana, em mais de 40 países, sendo que 58 % do total produzido, é destinado à panificação. O grão de trigo é composto por três partes, que são separadas durante o processo de moagem. Do endosperma obtém-se a farinha de trigo branca. O germe e o farelo eram preliminarmente destinados à alimentação animal, ou seja, subaproveitados com relação aos benefícios potenciais em micronutrientes, antioxidantes, minerais e fibras, que auxiliam na prevenção das doenças crônicas não transmissíveis. Atualmente, a indústria de alimentos está ciente da crescente demanda dos consumidores por produtos saudáveis, com baixas calorias e adicionados de fibras alimentares. Nesse sentido, estudos têm mostrado alternativas para substituir a gordura, havendo destaque para os amidos modificados que possuem benefícios funcionais, por exemplo: modificando a firmeza do miolo e o volume dos pães. Por isso, os objetivos deste estudo foram: elaborar pães com diferentes percentuais de farinha de trigo integral (caracterizada com a presença do farelo e do germe e, com diferentes tamanhos de partículas) e de um amido de milho modificado enzimaticamente (Selectamylx C150) funcionando como substituto de gordura, bem como analisar a qualidade desses pães. Como forma de adaptar a metodologia de elaboração dos pães, experimentos preliminares foram realizados usando o substituto de gordura e uma gordura comercial, resultando na publicação de um artigo que faz parte deste material como sendo o Apêndice F. Foi feita a avaliação das misturas de farinha de trigo integral com adição de substituto de gordura, com relação aos aspectos físico-químicos e reológicos. A análise de teor de glúten indicou que o trigo usado no experimento é forte, tecnologicamente viável para ser aplicado à panificação e possui valores de índice de glúten dentro da faixa indicada para farinhas comerciais. Tanto a análise de dextrose equivalente quanto a de microestrutura do amido estudado, mostraram que o substituto de gordura pode ser indicado à aplicação tecnológica na fabricação de pães integrais. A partir da Metodologia de Superfície de Resposta, foram encontrados modelos

matemáticos preditivos para volume específico e firmeza. Foi encontrado apenas efeito significativo linear da farinha de trigo integral, tanto para o volume específico quanto para firmeza, já que os modelos foram ajustados para estas respostas, sendo constatado que houve tendência inversa entre as mesmas. Os resultados da análise de imagem digitalizada, usada para verificar a qualidade dos pães, mostraram que a área celular média diminuiu, com o aumento do percentual de farinha de trigo integral, independentemente do percentual de substituto de gordura utilizado. E, que o método Ostu demonstrou mais fidedignamente a estrutura do miolo dos pães analisados, e por isso, é o algoritmo de binarização mais indicado à representatividade estrutural. Os resultados do perfil de textura instrumental e sensorial (com avaliadores treinados) dos pães elaborados mostraram que, independentemente do teor de substituto de gordura usado, os pães com teores menores que 60 % de farinha de trigo integral apresentaram características de serem mais macios, elásticos e coesivos do que os demais, e que, os pães mais firmes e, com maior mastigabilidade, possuem os maiores teores de farinha de trigo integral. Os resultados do parâmetro firmeza instrumental predizem o comportamento das amostras estudadas, o que confere confiança à metodologia e ao uso do texturômetro. O substituto de gordura pode funcionar como uma substância anti-firmeza. E, o treinamento sensorial executado foi bem sucedido, o que pode ser comprovado pelo fato das correlações entre a avaliação instrumental e sensorial terem valores elevados, ou seja, estarem fortemente correlacionadas. Considerando-se os resultados, pode-se concluir que o uso de todas as partes do grão de trigo, na forma de farinha de trigo integral, juntamente com o substituto de gordura, à elaboração de pães integrais é uma boa forma de beneficiar a dieta, a partir da ingestão de nutrientes saudáveis, aspecto indicado à prevenção de doenças.

**Palavras-chave:** Análise de imagem. Metodologia de superfície de resposta. Textura.

SCHEUER, Patrícia Matos. **Quality of whole bread loaves made with fat replacer**. 2015. Thesis (Doctoral on Food Science) – Postgraduate Program in Food Science, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC.

## ABSTRACT

Wheat is currently the largest primary commodity, being among the three most cultivated cereal in the world. It is the basis of human nutrition in more than 40 countries, with 58 % of total production intended for baking. The wheat grain is composed of three parts, which are separated during the grinding process. White flour is obtained from the endosperm. The germ and the bran were preliminarily intended for animal feed, that are underutilized in relation to the potential benefits of micronutrients, antioxidants, minerals and fiber, which help in the prevention of chronic diseases. The food industry is aware of the growing consumer demand for healthier products with low calories and added fiber. In this sense, studies have shown alternatives to replace fat - replacement, with emphasis on modified starches which have functional benefits, for example: by changing the hardness of the crumb and the volume of the bread. Therefore, the objectives of this study were to develop bread with different percentages of whole wheat flour (characterized by the presence of the bran and germ, and with different particle sizes) and an enzymatically modified corn starch (Selectamyl C150) functioning as a fat replacer, as well as analyze the quality of bread. In order to adapt the methodology of bread preparation, preliminary experiments were done using fat replacer and commercial fat, resulting in the publication of an article that is part of this material as Appendix F. Evaluation of flour blends were made with whole wheat flour and fat replacer, with respect to physical, chemical and rheological behavior. The gluten content analysis indicated that the wheat used in the experiment is strong, technologically feasible to apply for baking and it has gluten index values within the stated range for commercial flours. Both the dextrose equivalent analysis and the starch microstructure analysis showed that the fat replacer can be indicated to the technological application in the manufacture of breads. From the Response Surface Methodology, mathematical models for specific volume and hardness were found. Only significant linear effect of whole wheat flour was found both for the specific volume and hardness, since the models were adjusted for these responses, being observed that there was an inverse tendency between

them. The results of the digital image analysis, used to verify the quality of breads, showed that the average cell area decreased with the increase of the percentage of whole wheat flour, regardless of the percentage of the fat replacer used. Ostu method showed more faithfully the crumb structure of the analyzed breads, and therefore, the binarization algorithm is best suited to the structural representation. The results of instrumental and sensory texture profile (with trained panelists) of the prepared breads showed that irrespective of fat replacer used, the loaves with lower than 60 percent whole wheat flour showed characteristics of being softer, more elastic and more cohesive than the others, and the harder breads are chewier and have the highest whole wheat content. The results of instrumental hardness parameter predict the behavior of the samples, which gives confidence to the methodology and the use of a texturometer. The fat replacer can function as an anti-firming substance. And the sensory training performed was successful, which is evidenced by the fact that correlations between instrumental and sensory evaluation have high values, in other words, they are strongly correlated. Considering the results, it can be concluded that the use of all parts of the wheat grain in the form of whole wheat flour, along with fat replacer and preparation of breads is a good way to benefit from the diet, eating healthy nutrients and decreasing calories, aspects indicated to disease prevention.

**Keywords:** Digital image analysis. Response Surface Methodology. Texture.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### **CAPÍTULO 1..... 31**

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Corte longitudinal e transversal do grão de trigo.....   | 37 |
| Figura 2 - Microscopia eletrônica de varredura do controle e do amido de milho hidrolisado enzimaticamente..... | 54 |
| Figura 3 - Farinograma típico da farinha de trigo. ....   | 67 |
| Figura 4 - Alveograma típico da farinha de trigo. ....  | 68 |
| Figura 5 - Curva de viscosidade típica em analisador rápido de viscosidade. ....                                | 71 |
| Figura 6 - Curva típica para análise de perfil de textura. ....   | 75 |

### **CAPÍTULO 2..... 107**

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 - Microscopia eletrônica de varredura do substituto de gordura. ....                                     | 123 |
| Figura 2 - Propriedades de pasta das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura. .... | 133 |

### **CAPÍTULO 3..... 143**

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1 - Granulometria das misturas de farinhas e substituto de gordura. ....  | 156 |
| Figura 2 - Efeito percentual de farinha de trigo integral e de substituto de gordura no volume específico dos pães. .... | 161 |
| Figura 3 - Efeito percentual de farinha de trigo integral e de substituto de gordura na firmeza dos pães. ....           | 164 |

### **CAPÍTULO 4..... 177**

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1 - Fluxograma do processo de elaboração dos pães. ....         | 184 |
| Figura 2 - Imagens das amostras de pães. ....                          | 190 |
| Figura 3 - Imagens binarizadas por Otsu e default. ....                | 191 |
| Figura 4 - Efeito do teor de farinha de trigo integral e substituto de |     |

|   |     |
|---|-----|
| gordura na área celular média do miolo do pão, (a) Otsu, (b) default. 195   |     |
| Figura 5 - Efeito do teor de farinha integral e substituto de gordura na densidade celular do miolo do pão, (a) Otsu, (b) default. .... | 198 |
| Figura 6 - Efeito do teor de farinha integral e substituto de gordura na circularidade do miolo do pão, (a) Otsu, (b) default. ....     | 200 |

**CAPÍTULO 5 ..... 213**

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1 - Análise de componentes principais das amostras de pães. . | 231 |
|--|-----|

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 2..... 107**

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação do delineamento experimental .....  | 112 |
| Tabela 2 - Delineamento experimental para as duas variáveis independentes .....   | 113 |
| Tabela 3 - Teor de glúten das misturas homogeneizadas de farinha de trigo integral e branca com substituto de gordura ..... | 118 |
| Tabela 4 - Análise de cor das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura .....                  | 121 |
| Tabela 5 - Farinografia das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura .....                    | 125 |
| Tabela 6 - Alveografia das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura .....                     | 129 |
| Tabela 7 – Propriedades de pasta das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura .....           | 132 |

### **CAPÍTULO 3..... 143**

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação do delineamento experimental .....   | 150 |
| Tabela 2 - Delineamento experimental para as duas variáveis independentes .....  | 151 |
| Tabela 3 - Granulometria das mesclas de farinhas e substituto de gordura .....   | 155 |
| Tabela 4 – Análise composição físico-química dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura .....                 | 157 |
| Tabela 5 - Volume específico e firmeza dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura .....                       | 160 |
| Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) do volume específico dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura ..... | 162 |
| Tabela 7 - Análise de variância (ANOVA) da firmeza dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura .....           | 166 |
| Tabela 8 - Valores preditos pelo modelo completo, ajustado e valores experimentais obtidos .....   | 168 |

**CAPÍTULO 4 ..... 177**

Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação do delineamento experimental ..... 185

Tabela 2 - Delineamento experimental para as duas variáveis independentes..... 186

Tabela 3 - Parâmetros da análise de imagem dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura ..... 193

Tabela 4 - Quantidade de células para cada amostra de pão elaborado (%) ..... 202

Tabela 5- Área celular mínima e máxima do miolo dos pães elaborados ..... 203

Tabela 6 - Dimensão fractal relativa ao miolo dos pães elaborados.... 204

**CAPÍTULO 5 ..... 213**

Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação do delineamento experimental ..... 219

Tabela 2 - Delineamento experimental para as duas variáveis independentes..... 220

Tabela 3 - Atributos instrumentais da textura do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura ..... 224

Tabela 4 - Atributos sensoriais de textura do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura..... 228

Tabela 5 - Matriz de correlação entre os atributos de textura instrumental e sensorial do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura..... 234

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                  | <b>27</b> |
| <b>CAPÍTULO 1.....</b>                                   | <b>31</b> |
| <b>1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                   | <b>32</b> |
| 1.1.1 TRIGO.....   | 32        |
| <b>1.1.1.1 Produção .....</b>                            | <b>32</b> |
| <b>1.1.1.2 Identidade e processamento.....</b>           | <b>32</b> |
| 1.1.2 ESTRUTURA DO GRÃO DE TRIGO .....                   | 35        |
| <b>1.1.2.1 Composição química .....</b>                  | <b>37</b> |
| 1.1.2.1.1 Umidade .....                                  | 38        |
| 1.1.2.1.2 Proteínas.....                                 | 38        |
| 1.1.2.1.3 Lipídeos.....                                  | 40        |
| 1.1.2.1.4 Vitaminas e minerais .....                     | 41        |
| 1.1.3 CARBOIDRATOS .....                                 | 42        |
| <b>1.1.3.1 Amido .....</b>                               | <b>43</b> |
| <b>1.1.3.2 Fibras alimentares.....</b>                   | <b>45</b> |
| 1.1.4 SUBSTITUTOS DE GORDURA.....                        | 47        |
| <b>1.1.4.1 Derivados de proteínas.....</b>               | <b>48</b> |
| <b>1.1.4.2 Derivados de gorduras.....</b>                | <b>48</b> |
| <b>1.1.4.3 Derivados de carboidratos.....</b>            | <b>49</b> |
| 1.1.4.3.1 Modificação enzimática do amido de milho ..... | 51        |
| 1.1.5 PANIFICAÇÃO.....                                   | 55        |
| <b>1.1.5.1 Componentes da massa do pão.....</b>          | <b>56</b> |
| 1.1.5.1.1 Água .....                                     | 56        |
| 1.1.5.1.2 Fermento biológico .....                       | 57        |
| 1.1.5.1.3 Sal.....                                       | 58        |
| 1.1.5.1.4 Açúcar .....                                   | 59        |
| 1.1.5.1.5 Gordura .....                                  | 60        |
| <b>1.1.5.2 Processo da panificação .....</b>             | <b>62</b> |
| 1.1.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E REOLÓGICAS ..    | 65        |
| <b>1.1.6.1 Teor de glúten .....</b>                      | <b>65</b> |
| <b>1.1.6.2 Farinografia.....</b>                         | <b>65</b> |
| <b>1.1.6.3 Alveografia.....</b>                          | <b>67</b> |
| <b>1.1.6.4 Viscosidade.....</b>                          | <b>69</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.1.7 QUALIDADE DOS PÃES .....                 | 71        |
| <b>1.1.7.1 Volume</b> .....                    | <b>71</b> |
| <b>1.1.7.2 Cor</b> .....                       | <b>72</b> |
| <b>1.1.7.3 Textura</b> .....                   | <b>74</b> |
| 1.1.7.3.1 Perfil de textura instrumental ..... | 74        |
| 1.1.7.3.2 Perfil de textura sensorial.....     | 76        |
| <b>1.1.7.4 Imagem</b> .....                    | <b>77</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....                       | <b>79</b> |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>CAPÍTULO 2</b> ..... | <b>107</b> |
|-------------------------|------------|

|   |            |
|---|------------|
| <b>AVALIAÇÃO DE MISTURAS DE FARINHA DE TRIGO INTEGRAL COM ADIÇÃO DE SUBSTITUTO DE GORDURA</b> | <b>107</b> |
| <b>RESUMO</b> .....   | <b>108</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>109</b> |
| <b>2.1 INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>110</b> |
| <b>2.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | <b>111</b> |
| 2.2.1 MATERIAL.....   | 111        |
| 2.2.2 MÉTODOS .....   | 111        |
| <b>2.2.2.1 Preparo das misturas de farinhas e de substituto de gordura</b><br>.....           | <b>111</b> |
| <b>2.2.2.2 Delineamento experimental</b> .....  | <b>111</b> |
| <b>2.2.2.3 Análise estatística</b> .....  | <b>114</b> |
| <b>2.2.2.4 Análises físico-químicas</b> .....   | <b>114</b> |
| 2.2.2.4.1 Teor de glúten.....   | 114        |
| 2.2.2.4.2 Dextrose equivalente (DE).....  | 114        |
| 2.2.2.4.3 Cor.....  | 115        |
| 2.2.2.4.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....                                     | 116        |
| <b>2.2.2.5 Análises reológicas</b> .....  | <b>116</b> |
| 2.2.2.5.1 Farinografia.....   | 116        |
| 2.2.2.5.2 Alveografia .....   | 116        |
| 2.2.2.5.3 Viscosidade .....   | 117        |
| <b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | <b>117</b> |
| 2.3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....  | 117        |
| <b>2.3.1.1 Teor de glúten</b> .....   | <b>117</b> |
| <b>2.3.1.2 Dextrose equivalente</b> .....   | <b>120</b> |
| <b>2.3.1.3 Cor</b> .....  | <b>120</b> |
| <b>2.3.1.4 Microscopia eletrônica de varredura</b> .....                                      | <b>123</b> |
| 2.3.2 AVALIAÇÃO REOLÓGICA .....   | 124        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>2.3.2.1 Farinografia .....</b> | <b>124</b> |
| <b>2.3.2.2 Alveografia .....</b>  | <b>128</b> |
| <b>2.3.2.3 Viscosidade .....</b>  | <b>131</b> |
| <b>2.4 CONCLUSÃO .....</b>        | <b>136</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>          | <b>137</b> |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>CAPÍTULO 3.....</b> | <b>143</b> |
|------------------------|------------|

**EFEITO DOS NÍVEIS DE FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E DE SUBSTITUTO DE GORDURA NA QUALIDADE DO PÃO UTILIZANDO METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE**

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESPOSTA .....</b>                            | <b>143</b> |
| <b>RESUMO .....</b>                              | <b>144</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                            | <b>145</b> |
| <b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>                      | <b>146</b> |
| <b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>              | <b>148</b> |
| 3.2.1 MATERIAL .....                             | 148        |
| 3.2.2 MÉTODOS.....                               | 148        |
| 3.2.2.1 Elaboração dos pães .....                | 148        |
| 3.2.2.2 Delineamento experimental .....          | 149        |
| 3.2.2.3 Análises físico-químicas .....           | 152        |
| 3.2.2.3.1 Granulometria.....                     | 152        |
| 3.2.2.3.2 Composição físico-química .....        | 152        |
| 3.2.2.4 Avaliação da qualidade dos pães .....    | 152        |
| 3.2.2.4.1 Volume específico .....                | 152        |
| 3.2.2.4.2 Firmeza.....                           | 153        |
| 3.2.2.5 Análise estatística dos resultados ..... | 153        |
| <b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>          | <b>154</b> |
| 3.3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....             | 154        |
| 3.3.1.1 Granulometria .....                      | 154        |
| 3.3.1.2 Composição físico-química .....          | 157        |
| 3.3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PÃES .....      | 159        |
| 3.3.2.1 Volume específico.....                   | 159        |
| 3.3.2.2 Firmeza.....                             | 164        |
| 3.3.3 AJUSTE DO MODELO .....                     | 166        |
| 3.3.3.1 Validação dos modelos matemáticos .....  | 167        |
| <b>3.4 CONCLUSÃO .....</b>                       | <b>169</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                         | <b>170</b> |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>CAPÍTULO 4 .....</b> | <b>177</b> |
|-------------------------|------------|

**OTIMIZAÇÃO DE ANÁLISE DE IMAGEM PARA QUALIDADE DE PÃES INTEGRAIS COM SUBSTITUTO DE GORDURA ... 177**

|   |            |
|---|------------|
| <b>RESUMO .....</b>                                       | <b>178</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                     | <b>179</b> |
| <b>4.1 INTRODUÇÃO .....</b>                               | <b>180</b> |
| <b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                        | <b>182</b> |
| 4.2.1 MATERIAL .....                                      | 182        |
| 4.2.2 MÉTODOS .....                                       | 183        |
| 4.2.2.1 Elaboração dos pães.....                          | 183        |
| 4.2.2.2 Delineamento experimental.....                    | 184        |
| 4.2.2.3 Configurações da resolução de digitalização ..... | 187        |
| 4.2.2.4 Dimensão fractal da textura .....                 | 188        |
| 4.2.2.5 Análise dos resultados .....                      | 189        |
| <b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                   | <b>189</b> |
| <b>4.4 CONCLUSÃO .....</b>                                | <b>205</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                   | <b>206</b> |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>CAPÍTULO 5 .....</b> | <b>213</b> |
|-------------------------|------------|

**RELAÇÃO ENTRE PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL E SENSORIAL DE PÃES ELABORADOS COM FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E SUBSTITUTO DE GORDURA ..... 213**

|   |            |
|---|------------|
| <b>RESUMO .....</b>                                   | <b>214</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                  | <b>215</b> |
| <b>5.1 INTRODUÇÃO .....</b>                           | <b>216</b> |
| <b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                   | <b>217</b> |
| 5.2.1 MATERIAL .....                                  | 217        |
| 5.2.2 MÉTODOS .....                                   | 217        |
| 5.2.2.1 Elaboração dos pães.....                      | 217        |
| 5.2.2.2 Delineamento experimental.....                | 218        |
| 5.2.2.3 Avaliação do perfil de textura dos pães ..... | 221        |
| 5.2.2.3.1 Instrumental .....                          | 221        |
| 5.2.2.3.2 Sensorial.....                              | 221        |
| 5.2.2.4 Análise de componentes principais .....       | 223        |
| 5.2.2.5 Análises estatísticas .....                   | 223        |
| <b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>               | <b>223</b> |
| 5.3.1 ANÁLISE DE TEXTURA INSTRUMENTAL.....            | 223        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.3.2 ANÁLISE DE TEXTURA SENSORIAL.....  | 227        |
| 5.3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E CORRELAÇÃO<br>ENTRE TEXTURA INSTRUMENTAL E SENSORIAL ..... | 230        |
| <b>5.4 CONCLUSÃO .....</b>   | <b>234</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>236</b> |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>   | <b>241</b> |
| <br>   |            |
| <b>7 APÊNDICES .....</b>   | <b>243</b> |
| <br>   |            |
| <b>8 ANEXOS .....</b>  | <b>287</b> |



## INTRODUÇÃO

O trigo é caracterizado como a maior *commodity* primária, (FAO, 2015), estando entre os três cereais mais cultivados no mundo. Constitui a base da alimentação humana, em mais de 40 países, o que corresponde a aproximadamente 35 % da população mundial (TORRES, 2008), sendo que 58 % do total produzido é destinado à panificação (KOBELITZ, 2011).

O grão de trigo é composto por três partes: o endosperma, que contém basicamente amido e proteínas; o germe, composto majoritariamente por lipídeos e proteínas e, o farelo, que contém, principalmente, fibra alimentar (MARQUART et al., 2007). Esses três componentes são separados durante o processo de moagem, obtendo-se, principalmente, a farinha de trigo branca, utilizada na composição de grande parte dos produtos elaborados com trigo. Contudo, o germe e o farelo, que eram preliminarmente destinados à alimentação animal, subaproveitados com relação aos benefícios potenciais em micronutrientes, antioxidantes, minerais e fibras (SHEWRY, 2009), estão sendo atualmente consumidos na alimentação humana, pois apresentam propriedades que estão associadas à redução do risco de doenças (VITAGLIONE et al., 2008; BETA et al., 2005) cardiovasculares, gastrointestinais, câncer e obesidade (STEVENSON et al., 2012).

No Brasil, devido à falta de legislação específica que regulamente as farinhas integrais, muitas vezes são encontradas, comercialmente, farinhas com granulometria desuniforme, fator que modifica a funcionalidade tecnológica dos produtos elaborados (NIU et al., 2014), mesmo desrespeitando o indicativo de farinha de trigo integral, que tem granulometria homogênea e mantém as proporções originais das frações presentes no grão (endosperma, germe e farelo) em sua totalidade (WHOLE GRAINS COUNCIL, 2011).

O germe e o farelo são fontes importantes em fibras alimentares e fitoquímicos, amplamente utilizados na indústria de alimentos (MARQUART et al., 2007). As características das fibras alimentares (tamanho da partícula, composição química) influenciam a massa dos pães, com relação à função tecnológica, pelo efeito negativo na formação da rede de glúten, avaliação da firmeza sensorial, capacidade de ligação com a água, viscosidade, diminui o volume, altera a densidade da textura do miolo, escurece a coloração da massa, altera o odor e o sabor fica mais amargo (NOORT et al., 2010; KTENIOUDAKI; GALLAGHER, 2012), e às propriedades nutricionais, uma vez que diminui a digestibilidade do amido e as propriedades antioxidantes (ANGIOLONI; COLLAR, 2011;

ELLEUCH et al., 2011).

A indústria de alimentos está ciente da crescente demanda dos consumidores por produtos saudáveis (HELLYER et al., 2012) e nutritivos (KAUFMANN; PALZER, 2011; TURGEON; RIOUX, 2011), com baixas calorias (SANDROU; ARVANITOYANIIS, 2000), isentos de açúcares e adicionados de fibras alimentares (TRUSWELL, 2002; SUDHA et al., 2007).

Nesse sentido, estudos têm mostrado alternativas para substituir a gordura por substitutos de gordura em alimentos como: bolo adicionado de inulina e oligo frutose (VOLPINI-RAPINA et al., 2012); salsicha adicionada de pele de porco e fibra de trigo (CHOE et al., 2013); *muffins* adicionados de inulina (ZAHN et al., 2010); laticínio adicionado de inulina (MEYER et al., 2011); biscoito adicionado de polidextrose, maltodextrina,  $\beta$ -glucana, inulina ou proteínas do soro do leite (ZOULIAS et al., 2002) e maionese adicionada de amido de milho hidrolisado enzimaticamente (MA et al., 2006).

Amidos modificados possuem inúmeros benefícios funcionais, tais como: substituição da gordura em sorvetes; melhora da textura em biscoitos; aumento do valor nutricional em *cookies* e do cisalhamento em sobremesas lácteas; estabilização da temperatura em maioneses, bem como a encapsulação de óleos visando à prevenção da volatilização do sabor e do odor em carnes (ABBAS et al., 2010). Nos pães, por sua vez, diferentes amidos modificados quimicamente têm sido utilizados substituindo parte da farinha de trigo branca, minimizando as propriedades indesejáveis dos amidos nativos, modificando o volume do pão, a firmeza do miolo e a vida de prateleira (MIYAZAKI et al., 2006). É relevante estudar um amido modificado atuando, especificamente, como substituto de gordura.

Sendo assim, o objetivo geral deste estudo foi elaborar pães com diferentes percentuais de farinha de trigo integral, proveniente do grão de trigo moído inteiro, e de um amido de milho modificado enzimaticamente (Selectamylx C150) funcionando como substituto de gordura, o que levou a um objetivo secundário: analisar a qualidade dos pães. Esse amido foi escolhido por ser uma opção disponível no mercado, além de ser derivado de fonte única, o que facilita a caracterização em detrimento das mesclas de vários substitutos; e ser possível a reprodutibilidade dos pães comercialmente.

Assim, os objetivos específicos foram:

- Caracterizar físico-química e reologicamente as misturas entre as farinhas de trigo integral e branca, juntamente com o substituto de

gordura;

- Caracterizar o substituto de gordura, amido de milho modificado por conversão enzimática, por dextrose equivalente e microscopicamente;
- Elaborar e caracterizar os pães integrais, usando o amido de milho modificado por conversão enzimática, como substituto de gordura;
- Comparar os perfis de textura instrumental e sensorial dos pães integrais, elaborados com o substituto de gordura.

Este trabalho foi dividido na forma de capítulos, com os seguintes tópicos:

Capítulo 1. Revisão Bibliográfica

Capítulo 2. Avaliação de misturas de farinha de trigo integral com adição de substituto de gordura.

Capítulo 3. Efeito dos níveis de farinha de trigo integral e de substituto de gordura na qualidade do pão utilizando metodologia de superfície de resposta

Capítulo 4. Otimização de análise de imagem para qualidade de pães integrais com substituto de gordura

Capítulo 5. Relação entre perfil de textura instrumental e sensorial de pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura



## **CAPÍTULO 1**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1.1 TRIGO

#### 1.1.1.1 Produção

O trigo é caracterizado como a maior *commodity* primária (FAO, 2015), estando entre os três cereais mais cultivados no mundo. Constitui a base da alimentação humana, em mais de 40 países, o que corresponde a aproximadamente 35 % da população mundial (TORRES, 2008). É usado em larga escala para elaboração de diversos alimentos, como pães, biscoitos, bolos e massas (LV et al., 2012). A previsão mundial para o ano-safra 2015/2016 é que sejam produzidas 711 milhões de toneladas de trigo, 10 milhões de toneladas a menos que no ano-safra 2014/2015 (IGC, 2015).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), a estimativa de área brasileira cultivada com trigo para a safra 2014/2015 é de 2.730,4 mil hectares, com estimativa de produção nacional prevista para 5.903,9 mil toneladas, o que representa um incremento de 6,8 %, comparativamente à safra 2013 (CONAB, 2015).

No Brasil, o trigo é cultivado nas regiões Sul (RS, PR, SC), Sudeste (MG e SP) e Centro-Oeste (MS, GO, DF), sendo que cerca de 90 % da produção nacional está no Sul do Brasil (PR, RS). Contudo, com a evolução das pesquisas de melhoramento genético, o trigo começa a avançar ao Brasil Central (MG, DF, BA) (EMBRAPA, 2015).

#### 1.1.1.2 Identidade e processamento

A palavra “trigo” provém do vocábulo latino *Triticum*, que significa quebrado, triturado, em referência à atividade de separação da camada que o reveste. O termo “trigo” destina-se tanto à planta como às sementes comestíveis dela originadas (LÉON, 2007).

O trigo, pertencente à família *Poaceae*, sub-família *Pooideae* e ao gênero *Triticum*, é classificado em diferentes espécies, conforme o número de cromossomos (POPPER et al., 2006).

A legislação brasileira, Instrução Normativa n° 38 (BRASIL, 2010), denominada “Regulamento Técnico do Trigo”, define o padrão oficial de classificação, a partir dos requisitos de identidade e qualidade, amostragem, modo de apresentação, marcação ou rotulagem.

Para o requisito identidade, o trigo é definido pela própria espécie do produto. E, para os requisitos de qualidade, a definição do trigo ocorre

em função da força do glúten, da estabilidade, do peso do hectolitro, do número de queda, dos limites máximos de tolerância de defeitos estabelecidos e da umidade do grão (máximo de 13 %) (BRASIL, 2010).

O trigo é classificado em grupos, classes e tipos. O trigo classificado no grupo I destina-se à alimentação humana e, no grupo II, à moagem e outras finalidades. O trigo do grupo I é classificado em tipos (Tipo 1, 2, 3 e fora do tipo), de acordo com os limites máximos de tolerância a defeitos. O trigo do grupo II é classificado em tipos (Tipo 1, 2, 3 e fora do tipo) de acordo com peso do hectolitro, número de queda, umidade máxima, matérias estranhas e limites máximos de tolerância a defeitos. Este grupo também é classificado em melhorador, pão, doméstico, básico e para outros usos, levando-se em conta os valores de força de glúten, estabilidade e número de queda (BRASIL, 2010).

A qualidade do trigo pode ser definida como sendo o resultado da interação que a cultura sofre no campo, do efeito das condições do solo, do manejo, da cultivar, bem como das operações de colheita, armazenamento e moagem (EDWARDS, 2004).

A moagem do trigo é um processo que visa à separação do endosperma dos outros tecidos do grão e à redução do tamanho das partículas até transformá-las em farinha branca (GREFFEUILLE et al., 2005). Esse processo tem como objetivo o refino da farinha e a remoção do farelo como subproduto, apesar de muitos estudos demonstrarem a abundância de micronutrientes e fitoquímicos no farelo (LIU, 2007). Farinha de trigo de diferentes origens contém naturalmente variações nas proporções dos componentes, induzindo a variações na estrutura do produto elaborado (SCHMIDT, 2008).

A qualidade da farinha de trigo depende de vários fatores, como a variedade do trigo, o ano da colheita, o tratamento agrotécnico e a moagem dos grãos (PRABHASANKAR; RAO, 2001; KIHLEBERG et al., 2004; SVEC; HRUSKOVA, 2010). Esses aspectos podem ocasionar alterações nas propriedades reológicas, químicas e físicas, repercutindo, assim, no valor comercial e na funcionalidade (FLEURAT-LESSARD, 2002). A qualidade de um pão elaborado é afetada pela farinha de trigo utilizada (BUSKEN, 2012). Segundo Zhang e Moore (1999), o processo de moagem pode disponibilizar amostras de farelo de trigo com diferentes tamanhos de partícula, propriedade física denominada granulometria (KIHLEBERG et al., 2004), que afetam as propriedades reológicas, diminuindo o índice de tolerância à mistura da massa no farinógrafo e alterando o volume específico dos pães.

Em geral, farelo de trigo com partículas grandes (tamanho médio

de partícula acima de 500 µm) conduz à elevação da absorção de água (ANDERSON; EASTWOOD, 1987) e do volume do pão (ZHANG; MOORE, 1999), quando comparado com farelo de trigo com partículas finas (tamanho médio de partícula abaixo de 500 µm). Quando o pão é elaborado com farelo de partículas grandes, apresentará crosta com aparência áspera e textura arenosa (ZHANG; MOORE, 1999).

Partículas do farelo com tamanho pequeno influenciam negativamente a qualidade do pão, pelo fato de os componentes químicos do farelo interagirem facilmente com o glúten, inibindo o seu desenvolvimento (NOORT et al., 2010) e a formação da rede. Entretanto, a partir do ponto de vista nutricional, partículas menores poderiam contribuir para maior disponibilidade de vitaminas e outros compostos presentes nas camadas externas do grão (KAHLON et al., 1986).

A farinha de trigo é o produto elaborado com grãos de trigo *Triticum aestivum* ou outras combinações de trigo do gênero *Triticum* (exceto *Triticum durum*) ou, ainda, combinações por meio de trituração ou moagem e outras tecnologias ou processos (BRASIL, 2005a). O mesmo conceito é válido para a farinha de trigo integral, incluindo que o produto elaborado é oriundo do processamento a partir do grão limpo, contendo ou não o germe (BRASIL, 2005a).

No Brasil, devido à falta de legislação específica que regulamente as farinhas integrais, muitas vezes, farelo é adicionado à farinha branca e rotulado como farinha integral; esta mistura, modifica a funcionalidade dos produtos elaborados. Falta também legislação que regulamente a presença de grãos integrais nos alimentos comercializados no mercado brasileiro, possibilitando assim, o uso indiscriminado de diferentes toques de grãos integrais (ORO, 2013).

Segundo *Whole Grain Council* (WGC, 2013), um alimento pode ser denominado integral quando possui ao menos 51 % dos ingredientes sendo grãos integrais.

O *Food and Drug Administration* (FDA) permite que, em todos os produtos que contenham ao menos 51 % de grãos integrais e menos de 3 gramas de gordura, possa ser utilizada a alegação de saúde: “Diets ricas em grãos integrais e outros alimentos à base de plantas e com baixo consumo de gordura total, gordura saturada e colesterol podem ajudar a reduzir o risco de doenças cardíacas e certos cânceres” (FDA, 2010).

Segundo *Dietary Guidelines for Americans*, há recomendação para ingestão de três porções diárias de grãos integrais, para se certificar de que ao menos metade dos grãos consumidos diariamente sejam grãos integrais (USDA, 2010).

### 1.1.2 ESTRUTURA DO GRÃO DE TRIGO

O trigo é uma cariopse com semente única, arredondado na parte dorsal e com a presença de sulco ao longo de praticamente toda a extensão longitudinal da parte ventral (HOSENEY, 1991; EVERS; BECHTEL, 1988, apud CAUVAIN, 2012).

É constituído basicamente por três partes principais: germe (2,5 a 3 %), farelo (10 a 14 %) e endosperma (80 a 85 %) (FARDET, 2010).

O germe, que constitui a parte embrionária da planta, é constituído por nutrientes essenciais à germinação do grão (ATWELL, 2001). É fonte de minerais, proteínas, vitaminas do complexo B (MARQUART et al., 2002).

O farelo é rico em polissacarídeos não amiláceos, principalmente arabinoxilana, celulose e  $\beta$ -glucana (MAES; DELCOUR, 2001). É formado pela junção de tecidos, como o pericarpo externo, o pericarpo interno, a testa, a epiderme nucelar e a camada de aleurona (HEMERY et al., 2010), ricos em fibras, sais minerais (ATWELL, 2001), vitamina B6, vitamina E, tiamina, folato e fitoquímicos (SHEWRY, 2009).

O endosperma consiste em uma matriz proteica onde está incrustado grande número de grânulos de amido (HADDAD et al., 2001). Essa matriz proteica, formada basicamente pelo glúten, constitui a farinha de trigo propriamente dita. São as proteínas de reserva (gliadina e glutenina) que compõem o glúten, o principal responsável pela funcionalidade do trigo, a fonte de destaque das propriedades viscoelásticas da massa (GOESAERT et al., 2005).

A moagem é um processo físico (YUAN et al., 2003) com o objetivo de separar o farelo e o germe do endosperma amiláceo, que constituirá a farinha de trigo (PEDERSON et al., 1989). Após a limpeza e condicionamento do grão de trigo, o processo de moagem é realizado por sucessivas reduções das partículas e operações de separação, com intuito de disponibilizar a farinha, seguindo as exigências do mercado (YUAN et al., 2003).

Para obtenção da farinha de trigo, o farelo, rico em  $\alpha$ -amilase, é removido. Assim, durante o processo de moagem, observa-se redução gradativa da atividade  $\alpha$ -amilásica, ou seja, tendência ao aumento do parâmetro número de queda (PRABHASANKAR et al., 2000).

Na moagem, alguns grânulos de amido são mecanicamente danificados, o que varia de acordo com a severidade do processo de moagem e a dureza do grão. Grânulos de amido danificados são mais suscetíveis à hidrólise enzimática e absorvem mais água do que os que

não foram danificados, influenciando, portanto, as propriedades reológicas da farinha de trigo que irá produzir a massa do pão (FARIDI, 1990).

O conteúdo lipídico da farinha de trigo aumenta durante os estágios do processamento do grão quando realizada a moagem. Isso pode ser atribuído à extração da camada de aleurona lipídica aderida ao farelo (MORRISON; HARGIN, 1981), e à contaminação por fragmentos de germe (STEVENS, 1959).

O grão de trigo é amplamente estudado devido às propriedades antioxidantes, nutricionais e fitoquímicas (LV et al., 2012; POUTANEN, 2012). Os efeitos fisiológicos benéficos devem-se à sinergia entre os compostos presentes no cereal e à influência da matriz do alimento na acessibilidade dos compostos através do trato digestivo e disponibilidade dentro do organismo (FARDET, 2010).

Grãos integrais são nutricionalmente superiores aos grãos refinados (JACOBS et al., 1998), considerados um reservatório de macronutrientes (carboidratos, proteínas e lipídeos) (TURGEON; RIOUX, 2011), polissacarídeos da parede celular (fibra alimentar) e constituintes menores biologicamente ativos, como esteróis, minerais, ácido fítico, vitaminas, compostos fenólicos (POUTANEN, 2012).

As propriedades antioxidantes e fitoquímicas dos grãos integrais estão associadas à redução de doenças crônicas, como as cardiovasculares, alguns cânceres e a diabetes tipo II (LIU, 2007). Nesse sentido, estudos mostram que compostos fitoquímicos possuem atividade antioxidante, ou seja, com habilidade de ligar radicais livres que podem oxidar moléculas biologicamente relevantes) (ANSON, 2008) e fibras alimentares possuem função fisiológica (transportadoras de antioxidantes da dieta por meio do trato gastrointestinal) (SAURA-CALIXTO, 2011).

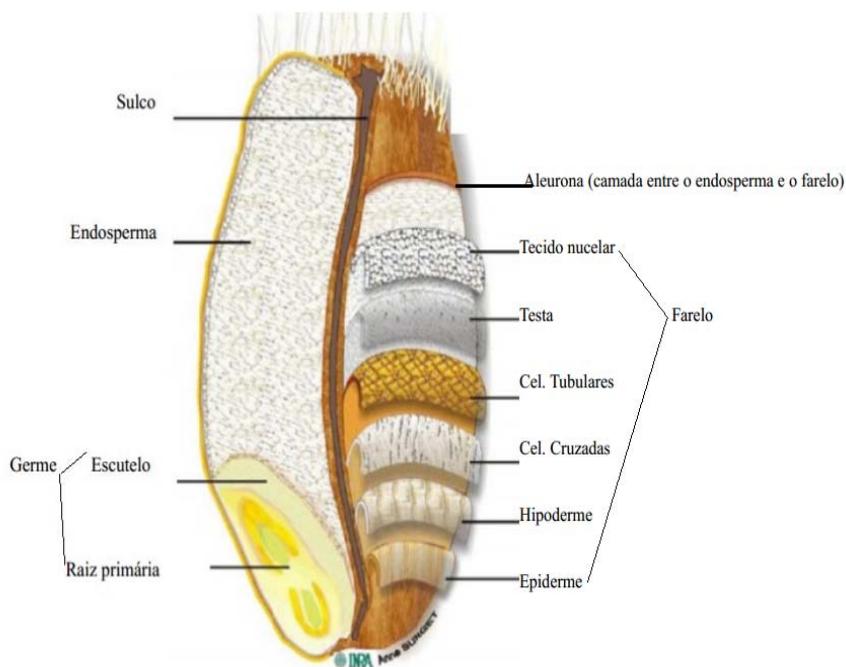
A maioria dos fitoquímicos presentes nos grãos integrais, benéficos à saúde, está presente na fração pericarpo/germe (LIU, 2007; POUTANEN, 2012). No trigo, essa fração contém cerca de 95 % dos compostos nutracêuticos e fitoquímicos presentes (FULCHER, 2003) e corresponde a 83 % do conteúdo fenólico total, 79 % do conteúdo de flavonoides totais, 78 % de zeaxantina total, 51 % de luteína total e 42 % de  $\beta$ -criptoxantina. Por isso, a fração pericarpo/germe do trigo integral é uma fonte concentrada de compostos bioativos benéficos à saúde, sendo indicados a comporem a dieta (LIU, 2007).

Os fitoquímicos mais importantes encontrados nos grãos integrais podem ser classificados como fenólicos, carotenoides, compostos com vitamina E, lignanas,  $\beta$ -glucanas e inulina (LIU, 2007).

E, dos compostos fenólicos que fazem parte dos grãos integrais, como ácidos fenólicos, antocianidinas, quinonas, flavonoides, chalconas, flavonas e flavanonas (LLOYD et al., 2000), 76 % estão presentes no trigo (LIU, 2007).

A Figura 1 ilustra o grão de trigo em corte longitudinal e transversal.

Figura 1 - Corte longitudinal e transversal do grão de trigo.



Fonte: Adaptada de Surget e Barron (2005).

### 1.1.2.1 Composição química

A composição química do grão de trigo afeta suas características funcionais e tecnológicas e, juntamente com as propriedades estruturais e a população microbiana, define a qualidade da farinha de trigo (MOUSIA et al., 2004). De forma geral, a farinha de trigo possui cerca de 71 % do

seu peso em carboidratos (majoritariamente amido), 13 % em proteína, 14 % em água (BUSHUK, 1975), 2 a 3 % em polissacarídeos não amiláceos (principalmente arabinosilanas), 2 % em lipídeos, e o restante em outros componentes (GOESAERT et al., 2005).

#### 1.1.2.1.1 Umidade

O conteúdo de água e a temperatura do grão são parâmetros essenciais que determinam o seu armazenamento. Durante a colheita do trigo, o teor de umidade (20 a 35 %) e a temperatura (10 a 35 °C) não asseguram a sua estocagem por longos períodos, o que indica que o cereal colhido deve ser seco e resfriado antes do armazenamento (KARUNAKARAN et al., 2001).

A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os micro-organismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para a armazenagem, há redução da atividade de água, da velocidade das reações químicas no produto e do desenvolvimento de micro-organismos (GONELI et al., 2007). O conteúdo de água do grão representa um índice comercial importante, pois influencia seu peso específico, rendimento de moagem, conservação e características tecnológicas (QUAGLIA, 1991), aspectos relacionados à qualidade para o processamento e o consumo. E, pela legislação brasileira em vigor, Instrução Normativa n° 38, o teor máximo de umidade permitido para os grãos de trigo é de 13 % (BRASIL, 2010).

#### 1.1.2.1.2 Proteínas

As proteínas são polímeros orgânicos formados por cadeias de aminoácidos, unidos entre si por ligações peptídicas entre um grupo carboxila de um aminoácido e o grupo amino de outro (SGARBIERI, 1996; NELSON; COX, 2011), ligados ao mesmo átomo de carbono (o carbono  $\alpha$ ). Eles diferem uns dos outros em suas cadeias laterais ou grupos R, que podem ser apolares ou polares, caracterizando, assim, porções hidrofóbicas ou hidrofílicas das proteínas (NELSON; COX, 2011).

Os grupos R variam em estrutura, tamanho e carga elétrica, e influenciam a solubilidade dos aminoácidos em água (CHIEH, 2006). A água interage com as proteínas modificando a configuração das mesmas. Isso ocasiona dobramentos e interações entre cadeias proteicas, bem

como ocorre por meio de ligações de hidrogênio, atração iônica, interação hidrofílica e hidrofóbica, que podem propiciar ligações dissulfídicas. As ligações enxofre-enxofre ligam as cadeias proteicas em uma rede tridimensional. As cadeias helicoidais e as dobradas proporcionam elasticidade, enquanto que o deslizamento das cadeias proporciona viscosidade (CHIEH, 2006).

As proteínas são classificadas segundo a sua solubilidade em quatro categorias: albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas (HOSENEY, 1991; EVERS; BECHTEL, 1988, apud CAUVAIN, 2012). Com relação ao trigo, as proteínas estão divididas em proteínas solúveis em soluções salinas, as albuminas e globulinas, assim como proteínas de reserva, o glúten (SGARBIERI, 1996), que é o principal componente funcional do trigo, e a fonte principal das propriedades viscoelásticas da massa (OSBORNE, 1924, apud GOESAERT et al., 2005).

O glúten do trigo tem como constituintes as proteínas de reserva, denominadas glutenina (é uma glutelina) e gliadina (é uma prolamina), naturalmente ricas em prolina e glutamina - dois dos 20 aminoácidos essenciais aos seres humanos. Essa composição explica o fato de o trigo ser o responsável por mais de 20 % das calorias e proteínas necessárias à nutrição humana (TORRES, 2008).

As proteínas do glúten, encontradas no endosperma do grão de trigo maduro, formam uma matriz contínua em torno dos grânulos de amido (GOESAERT et al., 2005). Possuem composição e estrutura distintas. Sua classificação ocorre em função da massa molecular (característica que reflete o tamanho da proteína) e da capacidade de agregação (capacidade de formar grumos) (TORRES, 2008).

Enquanto a gliadina pode ser dividida em quatro grupos, de acordo com a mobilidade eletroforética,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, e  $\omega$ -gliadina, a glutenina é classificada em dois tipos, de alta massa molecular (HMW-GS - *high molecular weight glutenin subunits*) ou baixa massa molecular (LMW-GS - *low molecular weight glutenin subunits*) (SHEWRY et al., 1998).

Tanto a gliadina quanto a glutenina são caracterizadas em termos da variação alélica, ou seja, em termos da localização cromossômica dos genes e da influência nas propriedades funcionais (SINGHAL et al., 1991). Além da localização cromossômica dos genes, a presença de ligações dissulfídicas, devido ao conteúdo elevado de resíduos de cisteína, é também um aspecto relevante à caracterização proteica (SHEWRY; TATHAM, 1997). A HMW-GS confere ao glúten estrutura intermolecular  $\beta$ -folha, um dos elementos responsáveis pela

viscoelasticidade da massa (BELTON et al., 1995), o que explica a relação existente entre o papel da HMW-GS e a funcionalidade do glúten (SHEWRY; TATHAM, 1997).

As  $\alpha$ -,  $\beta$ - e  $\gamma$ -gliadinas têm ligações dissulfídicas intramoleculares (KÖHLERA et al., 1993, apud BRANLARD et al., 2001) e as  $\omega$ -gliadinas não contêm ligações dissulfídicas (SHEWRY et al., 1986, apud BRANLARD et al., 2001).

Já os polipeptídeos individuais da glutenina, chamadas subunidades, são ligadas também por ligações dissulfídicas, diferentes entre si em termos da composição dos aminoácidos e de massa molecular, isto é, de 23 a 68 kDa para LMW-GS e de 77 a 160 kDa para HMW-GS (KASARDA, 1999, apud BRANLARD et al., 2001).

As diferenças existentes na massa molecular das subunidades das proteínas de reserva (principalmente a glutenina) permitem separá-las em diferentes frações, de acordo com a mobilidade, em gel de poliacrilamida e dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE Eletroforese) (BRANLARD et al., 2001).

É a composição qualitativa e quantitativa das frações poliméricas de glutenina e monoméricas de gliadina que influencia as propriedades reológicas da massa de trigo. Ou seja, mais especificamente a matriz viscoelástica do glúten (PRUSKA-KEDZIOR et al., 2008), a conseqüente qualidade de elaboração do produto (GOESAERT et al., 2005), em termos de viscosidade, viscoelasticidade, ponto de quebra e temperatura de pasta (ZAIDUL et al., 2007).

A propriedade viscoelástica do glúten hidratado é caracterizada pela atuação plastificante da gliadina, que proporciona viscosidade e extensibilidade, e pela ação de resistência à ruptura da massa, proporcionada pela glutenina (SGARBIERI, 1996).

A presença das proteínas do glúten na farinha de trigo a torna apropriada à elaboração de produtos panificáveis levedados (BUSHUK, 1998, apud WANG et al., 2007), pois é a rede proteica do glúten a responsável pela retenção de dióxido de carbono produzido durante o processo de fermentação e de assamento nas massas levedadas (GOESAERT et al., 2005). Entender as propriedades mecânicas do glúten do trigo é, portanto, entender o comportamento do processamento dos produtos elaborados com trigo (BELTON, 2005).

#### 1.1.2.1.3 Lipídeos

Os lipídeos compreendem somente de 1,5 a 7,0 % dos cereais, e

incluem vários componentes, como ácidos graxos essenciais, vitaminas lipossolúveis e fitosteróis (RUIBAL-MENDIETA et al., 2004), que são hipocolesterolêmicos (JIANG; WANG, 2005). Estes são originados de membranas, organelas, esferossomos e diferentes estruturas químicas (GOESAERT et al., 2005).

As classes predominantes de lipídeos, nas membranas celulares, são denominadas fosfo-, glico- ou galacto-lipídeos (FINNIE et al., 2009), e caracterizadas por lipídeos polares que apresentam, comumente, “cabeça” hidrofílica e “cauda” hidrofóbica (lipofílica) (FAERGEMAND; KROG, 2003), cuja função é contribuir para a redução de absorção do colesterol e melhoria física do aparelho digestivo (SUGAWARA; MIYAZAWA, 2001).

Os lipídeos são componentes minoritários do trigo e são encontrados em pequena quantidade, constituindo de 2,5 a 3,3 % da cariopse. Eles estão localizados no germe, na camada de aleurona, no endosperma (FINNIE et al., 2009) e possuem funções importantes na germinação e desenvolvimento do grão de trigo (HARGIN; MORRISON, 1980).

No trigo, há lipídeos apolares e polares. Os lipídeos apolares estão predominantemente presentes no germe e na camada de aleurona (PAREYT et al., 2011). A maior parte dos lipídeos polares, cerca de 146 espécies, estão presentes no endosperma amiláceo do grão de trigo (FINNIE et al., 2009), sendo que a sua composição e a estrutura influenciam a estabilização das células gasosas da massa do pão, o que repercute no aumento do volume do mesmo (SROAN; MacRITCHIE, 2009).

#### 1.1.2.1.4 Vitaminas e minerais

O trigo é fonte importante das vitaminas: tiamina (B<sub>1</sub>) (0,13 a 0,99 mg/100g); riboflavina (B<sub>2</sub>) (0,04 a 0,31 mg/100g); ácido nicotínico (B<sub>3</sub>) (1,9 a 11,1 mg/100g); ácido pantotênico (B<sub>5</sub>) (0,7 a 2 mg/100g); piridoxina (B<sub>6</sub>) (0,09 a 0,66 mg/100g); biotina (B<sub>8</sub>) (0,002 a 0,011 mg/100g); folato (B<sub>9</sub>) (0,014 a 0,087 mg/100g); tocoferóis e tocotrienóis (2,3 a 7,1 mg/100g) (FARDET, 2010), como a vitamina E, considerada um antioxidante absorvido pelos humanos (DEWETTINCK et al., 2008).

O trigo possui de 1,5 a 2,0 % de minerais. Cerca de 61 % deles concentram-se na camada de aleurona (HOSENEY, 1991). Assim, pode ser constatado que os sais minerais encontrados na farinha de trigo integral são provenientes do pericarpo, que contém cerca de trinta vezes

mais sais minerais do que o endosperma (ATWELL, 2001). É fonte de fósforo (218 a 792 mg/100g); potássio (209 a 635 mg/100g); magnésio (17 a 191 mg/100g); cálcio (7 a 70 mg/100g); ferro (1 a 14,2 mg/100g); sódio (2 a 16 mg/100g); zinco (0,8 a 8,9 mg/100g); manganês (0,9 a 7,8 mg/100g); cobre (0,09 a 1,21 mg/100g) e selênio (0,0003 a 3 mg/100g) (FARDET, 2010), este último, um micronutriente essencial aos humanos com efeito anticancerígeno, antiviral (LYONS et al., 2005) e antioxidante (YU; ZHOU, 2004).

A recomendação média diária para um adulto ingerir, de acordo com o documento “Ingestão Dietética de Referência” (*Dietary Reference Intakes*) (USDA, 2010), é de 1,1 a 1,2 mg de tiamina (B<sub>1</sub>); 1,1 a 1,3 mg de riboflavina (B<sub>2</sub>); 14 a 18 mg de ácido nicotínico (B<sub>3</sub>); 4 a 5 mg de ácido pantotênico (B<sub>5</sub>); 1,2 a 1,7 mg de piridoxina (B<sub>6</sub>); 25 a 30 µm de biotina (B<sub>8</sub>); 400 µm de folato (B<sub>9</sub>); 15 mg de vitamina E; 580 mg de fósforo; 4,7 g de potássio; 255 a 350 mg de magnésio; 800 a 1100 mg de cálcio; 5 a 8,1 mg de ferro; 1,2 a 1,5 g de sódio; 6,8 a 9,4 mg de zinco; 1,8 a 2,3 mg de manganês; 685 a 700 µm de cobre e 45 µm de selênio.

Verifica-se, dessa forma, que a composição de 100 g de trigo integral, em vitaminas e minerais, contribui à ingesta recomendada na dieta e supre as quantidades de fósforo, ferro, manganês, cobre e selênio.

### 1.1.3 CARBOIDRATOS

Os carboidratos podem ser classificados, de acordo com o tamanho molecular e o grau de polimerização, e subdivididos, com relação ao número e à composição das unidades de monossacarídeos, em: açúcares (mono e dissacarídeos); oligossacarídeos; amido (amilose e amilopectina) e polissacarídeos não amiláceos (LAFIANDRA et al., 2014). Além disso, podem ser classificados em duas grandes categorias: os disponíveis e os não disponíveis (ENGLYST; HUDSON, 1996).

Os carboidratos disponíveis, também caracterizados como carboidratos glicêmicos, são digeridos e absorvidos pelos humanos no intestino delgado, o que inclui o amido (não resistente), os açúcares solúveis (HOSENEY, 1991; ENGLYST; HUDSON, 1996) e as maltodextrinas (ENGLYST; ENGLYST, 2005). Dentre os carboidratos não disponíveis estão os polissacarídeos não amiláceos, arabinoxilana, β-glucana, celulose, peptídeos arabinogalactanas (HENRY, 1985) e o amido resistente, que transita pelo intestino grosso como substrato para fermentação e sendo caracterizado como carboidrato não glicêmico

(ENGLYST; ENGLYST, 2005).

No grão de trigo maduro, os carboidratos totalizam 65 a 75 %, sendo que desses, cerca de 1 % são monossacarídeos (glicose e frutose) e dissacarídeos (sacarose e maltose), 1 a 2 % frutanos, 10 % polissacarídeos da parede celular (principalmente celulose, arabinoxilana,  $\beta$ -glucana), 65 a 75 % amido e o restante, fibra alimentar (STONE; MORELL, 2009, apud LAFIANDRA et al., 2014).

### 1.1.3.1 Amido

O amido é o principal carboidrato em importância nutricional na alimentação humana (ZEEMAN et al., 2010), fonte direta de glicose, que é o substrato essencial para o cérebro, células vermelhas do sangue e geração de energia metabólica (COPELAND et al., 2009). É também considerado matéria industrial importante, sendo extraído predominantemente do milho, além de outras espécies, como arroz, trigo, mandioca, batata e araruta (ZEEMAN et al., 2010).

O amido representa 60 a 68 % dos carboidratos presentes no trigo e, absorve, no mínimo, 46 % de água durante a elaboração de uma massa de pão, por isso possui grande importância tecnológica (GOESAERT et al., 2005).

A partir da espécie botânica, o amido pode variar de acordo com a forma, elipsoide, esférica, poliédrica, ovoide, lenticular, truncada, redonda, cilíndrica, cupuliforme, mitriforme, sacciforme, pentagonal arredondada, hexagonal arredondada, convexo-bicôncava (CEREDA et al., 2003), o tamanho do grânulo (1 a 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro), a distribuição do tamanho (uni ou bi-modal), a associação (simples ou composto), a composição (TESTER et al., 2004) e o tipo (A, B ou C) (ZEEMAN et al., 2010). O amido de trigo caracteriza-se com distribuição de tamanho bimodal: grânulos pequenos (diâmetro aproximado de 10  $\mu\text{m}$ , forma esférica, tipo B) e grânulos médios (diâmetro aproximado de 20  $\mu\text{m}$ , forma lenticular, tipo A) (TESTER et al., 2004; GOESAERT et al., 2005).

Quando visto em microscópio óptico sob luz polarizada, o grânulo de amido nativo apresenta birrefringência, e a “Cruz de Malta” pode ser observada (BULÉON et al., 1998). É produzido nos amiloplastos e constituído por dois polímeros de D-glicose, a amilose e a amilopectina; juntas, formam a estrutura semicristalina do amido (HOSENEY, 1991; BULÉON et al., 1998).

A maior parte dos amidos contém de 20 a 30 % de amilose e de 70 a 80 % de amilopectina, sendo que a razão amilose: amilopectina varia

de acordo com a fonte botânica. Há ainda, contudo, algumas variedades referidas como “*waxy*” ou cerosas, que contêm baixas quantidades de amilose (JANE et al., 1999), de 0 a 1,1 %, ou seja, predominando a amilopectina (MOORE et al., 1984, apud OATES, 1997; NAGULESWARAN et al., 2013).

A amilose, composta por unidades de glicose com ligações  $\alpha$ -D-1,4 (BULÉON et al., 1998), massa molecular aproximada de  $10^5$  (MUA; JACKSON, 1997), correspondendo ao grau de polimerização de 1.000 a 10.000 unidades de glicose (COPELAND et al., 2009), é um polissacarídeo linear que pode ser determinado medindo-se a afinidade pelo iodo (coloração torna-se azul) (PEAT et al., 1952; JANE et al., 1999). Apesar do baixo grau em ramificações (COPELAND et al., 2009), pode formar dupla hélice, devido à presença de ligações de hidrogênio entre macromoléculas dispostas paralelamente, o que está associada à forma cristalina (WU; SARKO, 1978). A presença de átomos de hidrogênio no interior da hélice caracteriza a amilose como hidrofóbica e disponível para formar complexos com ácidos graxos livres, com componentes glicéridos dos ácidos graxos, com álcoois e iodo (THOMAS; ATWELL, 1999).

A amilopectina é um polímero de glicose ramificado, unido por meio de ligações  $\alpha$ -D-1,4 e, nas ramificações, por ligações  $\alpha$ -D-1,6 (MUA; JACKSON, 1997). Sua massa molar é de  $10^8$ , formato em dupla hélice, e está presente de 60 a 90 % nos amidos (COPELAND et al., 2009). É caracterizada como o componente cristalino predominante (VEREGIN et al., 1986), sendo, então a responsável pela forma granular do amido (ZEEMAN et al., 2010).

A estrutura do amido, descrita em termos das propriedades físico-químicas das moléculas que o constituem e da interação molecular, pode adquirir características novas a partir de modificações (TESTER et al., 2004), de forma a alcançar propriedades funcionais como espessamento, geleificação, adesão e/ou formação de filmes (CEREDA et al., 2003).

Muitas dessas propriedades funcionais envolvem aumento de temperatura e suficiente umidade, o que ocasiona intumescimento dos grânulos de amido e rompimento das ligações intermoleculares. É possível, a partir desse processo, a formação de ligações de hidrogênio com a água, expondo os grupos hidroxila da amilose e da amilopectina, o que caracteriza o processo de gelatinização e a perda da cristalinidade inicial nativa (HOOVER, 2001; COPELAND et al., 2009; DAMODARAN et al., 2010). A temperatura de gelatinização do amido de milho é de 70-71 °C (SOUZA; ANDRADE, 2000; SINGH et al., 2003;

ZHONGDONG et al., 2003, apud PENG et al., 2007) e, para a maioria dos amidos está entre 60 e 80 °C, havendo, geralmente, relação negativa entre o conteúdo de amilose, temperatura de gelatinização e pico de viscosidade (COPELAND et al., 2009). Com a diminuição da temperatura, por sua vez, os grânulos de amido gelatinizados retrogradam gradualmente em agregados semicristalinos (COPELAND et al., 2009).

Modificações nos amidos têm auxiliado a indústria de alimentos, papel, farmacêutica, têxtil, tintas (STASIAK et al., 2011), fermentação, cosméticos, fundição, metalúrgica e mineração (CEREDA et al., 2003).

Na indústria de alimentos, por exemplo, o tratamento hidrotérmico tem sido altamente promissor na geração de aditivos e de ingredientes com propriedades específicas (ZAVAREZE; DIAS, 2011). Essas possibilidades são influenciadas pela composição e fonte do amido, razão entre amilose:amilopectina (HOOVER, 2001) e condições do tratamento (temperatura, tempo e níveis de umidade) (ZAVAREZE; DIAS, 2011).

Os amidos podem ser submetidos a modificações químicas (esterificação, intercruzamento, cationização, grafitação e outras), físicas (micro-ondas, radiação, extrusão, *annealing*, sendo esse último, processo no qual uma suspensão de amido é exposta à temperatura superior a de transição vítrea e inferior a de gelatinização), enzimáticas (hidrólise) ou genéticas (KAUR et al., 2012), sendo considerados ingredientes permitidos para uso em alimentos (BRASIL, 1997).

### 1.1.3.2 Fibras alimentares

As fibras alimentares são polissacarídeos não amiláceos e, no trigo, estão presentes, basicamente, no pericarpo (ATWELL, 2001), destacando-se a arabinoxilana, a celulose e a  $\beta$ -glucana (MAES; DELCOUR, 2001). Podem ser classificadas de acordo com a estrutura, com a solubilidade em água e o grau de fermentação, em solúveis e insolúveis (ATWELL, 2001).

As fibras solúveis são caracterizadas pela capacidade de aumentar a viscosidade; formar géis; atuar como emulsificante; serem facilmente incorporadas aos alimentos; não influenciar negativamente a textura e o sabor; reduzir a resposta glicêmica e o colesterol do plasma (FOSCHIA et al., 2013). São substratos para a fermentação bacteriana, resultando em hidrogênio, dióxido de carbono, biomassa e ácidos graxos de cadeia curta, que exercem papel importante na fisiologia intestinal,

modulando a atividade gastrointestinal e atuando no metabolismo da glicose e do colesterol (FAO, 1998).

As fibras insolúveis são caracterizadas pela porosidade, baixa densidade, capacidade de auxílio ao trânsito intestinal, formação do bolo fecal (FOSCHIA et al., 2013) e sensação de saciedade (FARDET, 2010). Por serem pouco fermentadas no intestino, as fibras insolúveis, diretamente, adsorvem e diluem a ação de compostos carcinogênicos, reduzindo o contato dos mesmos com células epiteliais, e, indiretamente, auxiliam na diminuição do pH do meio, o que auxilia na prevenção do câncer de cólon (FERGUSON; HARRIS, 1999, apud FARDET, 2010).

Os cereais mais utilizados como fontes de fibras alimentares são: trigo, aveia, cevada, arroz, centeio (FOSCHIA et al., 2013). E, no trigo, a razão fibra solúvel:insolúvel é de 1:5 no grão integral, 1:10 no farelo e 1:3 no germe (FARDET, 2010).

A *American Association of Cereal Chemists* – AACC (2000) define fibra como o remanescente de partes comestíveis de plantas e carboidratos análogos, resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano, com fermentação completa ou parcial no intestino grosso. Nela estão incluídos os polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias vegetais associadas. Exibe um ou mais efeitos laxativos (aumento de volume e maciez do bolo fecal, aumento da frequência e/ou regularidade) (ELLEUCH et al., 2011) e atenuação do colesterol e/ou glicose sanguíneos (AACC, 2000). A fibra alimentar, portanto, exerce papel importante na dieta humana, como provedora de saúde (VITOLLO; CAMPAGNOLO, 2007).

Estudos indicam inúmeros benefícios à saúde associados ao aumento da ingestão de fibra alimentar, incluindo redução do risco de doenças cardiovasculares, diabetes, obesidade e cânceres (FARDET, 2010), que são doenças crônicas não transmissíveis e que podem ser prevenidas pela ingestão de fibras, por meio da regulação da velocidade da taxa de glicose (NUGENT, 2005) e de colesterol na corrente sanguínea (KTENIOUDAKI; GALLAGHER, 2012). A ação sinérgica entre os compostos bioativos (vitaminas, minerais, antioxidantes, fitoquímicos) presentes nos cereais integrais, juntamente com as fibras, contribuem à proteção da saúde e/ou manutenção da função fisiológica (FARDET, 2010).

Segundo *Codex Alimentarius*, adultos de até 50 anos devem ingerir fibras, sendo recomendada a ingestão diária de 38 gramas para homens e 25 gramas para mulheres. A ingestão recomendada para homens e mulheres com mais de 50 anos, porém, é de 30 e 21 gramas diárias,

respectivamente, devido à diminuição do consumo de alimentos nessa faixa etária (IOM, 2002).

Segundo regulamentação da Comissão Europeia (EC N° 1924 de 30 de dezembro de 2006), um alimento caracterizado como “fonte de fibras” deve conter, no mínimo, 3 gramas de fibra por 100 gramas de alimento, ou 1,5 grama de fibra por 100 kcal. Para ser caracterizado como “rico em fibra”, um alimento deve conter, pelo menos, 6 gramas de fibra por 100 gramas de alimento, ou 3 gramas de fibra por 100 kcal.

As funções fisiológicas das fibras são, usualmente, atribuídas às propriedades físico-químicas das mesmas, como capacidade de retenção de água, intumescimento, propriedades de ligação aos lipídeos, suscetibilidade à degradação bacteriana ou à fermentação, formação de emulsão e/ou gel (ELLEUCH et al, 2011) e às propriedades reológicas em produtos alimentícios, modificando as propriedades de textura em alimentos (produtos de panificação, laticínios, geléias, carnes, sopas) (ROSELL et al., 2010), evitando sinerese (separação do líquido, a partir de um gel, provocada por contração), na mesma medida em que estabiliza alimentos ricos em gordura e aumenta a vida útil (ELLEUCH et al., 2011).

Na formulação de pães, estudos mostram que a incorporação de farinhas integrais de diversos cereais aumenta a qualidade nutricional, sendo observada correlação significativa entre as fibras alimentares e a digestibilidade *in-vitro* do amido (RAGAEI et al., 2011). Além disso, dependendo do tipo, da quantidade e da fonte de fibra adicionada, diferentes respostas podem ser obtidas pelos parâmetros do processo e em termos de características de qualidade dos pães elaborados. Constituem exemplos a variação no teor de absorção de água, no tempo de desenvolvimento da massa, na estabilidade da mistura e na extensibilidade, durante o preparo da massa, e a variação no volume, na textura (firmeza, crocância), na aparência (cor, propriedades superficiais, densidade), no sabor e no odor, após o assamento dos pães (KTENIOUDAKI; GALLAGHER, 2012; ALMEIDA et al., 2013; FOSCHIA et al., 2013).

#### 1.1.4 SUBSTITUTOS DE GORDURA

De acordo com *Food and Drug Administration* (FDA, 2010), produtos que contenham até 3 gramas de gordura na porção são considerados saudáveis. Porém, para uma alimentação saudável, juntamente com o consumo de cereais, muitos guias alimentares recomendam alimentos sem adição de gordura (TRUSWELL, 2002), pelo

fato de a ingestão de gordura propiciar aumento de colesterol e doenças cardiovasculares (USDA, 2010) e porque as gorduras fornecerem 9 kcal/g, o dobro fornecido pelas proteínas e carboidratos (DZIEZAK, 1989).

Há orientações, de caráter restritivo, para que se consuma menos gordura na dieta, pelo fato de esse componente estar cientificamente relacionado ao risco aumentado do desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, o que repercute nas estatísticas de morbidade e mortalidade (BRASIL, 2005b). Os substitutos de gordura são moléculas cujas características físicas imitam a gordura, no entanto, com redução ou isenção de calorias (VANDERVEEN; GLINSMANN, 1992). Podem ser divididos em três categorias: derivados de proteínas, derivados de gorduras e derivados de carboidratos (VANDERVEEN; GLINSMANN, 1992; CCC, 2011).

#### **1.1.4.1 Derivados de proteínas**

As proteínas podem ser utilizadas como substitutos de gordura devido ao potencial nutritivo, à versatilidade das propriedades funcionais, como solubilidade, viscosidade e capacidade de retenção de água (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996) e à habilidade de originar micropartículas. Estas coagulam e formam gel a partir da aplicação do calor, não sendo percebidas como partículas individuais na boca, mas, sim, como a maciez da gordura (SINGHAL et al., 1991; CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Todavia, as proteínas apresentam aplicação limitada como substitutos de gordura, pelo fato de não poderem ser utilizadas em processos com altas temperaturas, como em panificação e frituras, já que o aquecimento provoca coagulação e desnaturação, acarretando perda de cremosidade e textura, além da interação com componentes do sabor, o que diminui a intensidade ou contribui para a ocorrência de sabor desagradável (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996). São exemplos de derivados de proteínas que atuam como substitutos de gordura: proteína do soro do leite (CHUNG et al., 2014) e proteína de soja (SAJEDI et al., 2014).

#### **1.1.4.2 Derivados de gorduras**

Os substitutos de gordura, derivados de gordura, podem atuar tanto como lipídeos quanto como emulsificantes. Como lipídeos, possuem atuação análoga às gorduras, porém com redução calórica (SINGHAL et al., 1991). Um exemplo é a olestra (ésteres de ácidos

graxos com sacarose), uma gordura artificial não calórica que não é digerida pelo organismo humano (DZIEZAK, 1989; CCC, 2011). E, como emulsificantes, atuam em produtos que contêm duas fases, polar e apolar, combinando-as e mantendo os ingredientes hidratados e em suspensão (GARTI, 1999).

Exemplos: caprenina, mono e diésteres de propilenoglicol, ésteres de ácidos policarboxílicos, malonato de dialquil dihexadecil, glicerol propoxilado esterificado, ésteres de poliglicerol, éteres, polímeros de silicone, óleo de jojoba, triacilgliceróis estruturados (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

### 1.1.4.3 Derivados de carboidratos

Os carboidratos atuam como substitutos de gordura através da mimetização da gordura. Isso ocorre pelo fato de os carboidratos terem possibilidade de reter e estabilizar grandes quantidades de água em uma estrutura de gel (NONAKA, 1997), conferindo assim, propriedades lubrificantes e de fluxo, semelhantes às dos lipídeos (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Muitos dos substitutos de gordura, baseados em carboidratos, são compostos por macromoléculas que originam géis propiciando estrutura ao alimento e retendo água, o que é determinante à textura (LIU et al., 2008) e à aparência do alimento. O tipo específico do substituto e da interação com outros ingredientes determinará como e quando a água será liberada na cavidade oral (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Os derivados de carboidratos são efetivos substitutos de gordura em produtos que possam ser tratados termicamente (YACKEL, 1992, apud ESTELLER, 2004), exceto como agentes de frituras. Enquadram-se nessa categoria, inulina (CCC, 2011), polidextrinas, gomas (SINGHAL et al., 1991), fibras (CRIZEL et al., 2013) e amidos (SAJILATA; SINGHAL, 2005).

Os derivados de amidos são indicados como substitutos de gordura devido às seguintes características: possuem baixo nível de doçura; não têm gosto; não mascaram outros sabores e aromas (GLUECK et al., 1994); apresentam a mesma textura e sensação na boca que as gorduras; conseguem absorver e reter água no produto; são similares às gorduras em tamanho e massa molecular (ALEXANDER, 1995).

Modificações são feitas como forma de superar as deficiências dos amidos nativos e aumentar a aplicação nos processos industriais (KAUR et al., 2012). De forma geral, amidos são modificados com intuito

de auxiliar em processos que alteram a gelatinização. É possível, então, reduzir a retrogradação e a tendência das pastas em formar géis, aumentando a sua estabilidade ao resfriamento e congelamento, assim como a transparência dos géis. Dessa forma, a textura será melhorada, formando filmes, aumentando a adesividade, introduzindo poder emulsificante (BEMILLER, 1997).

O uso potencial dos grânulos de amido incluiu fatores como tamanho e forma. Grânulos pequenos de amido (2  $\mu\text{m}$ ), por exemplo, podem ser usados como substitutos de gorduras, pelo fato de o tamanho ser semelhante ao das gotículas de lipídeos (LIM et al., 1992). O grânulo de amido pode sofrer modificação química, física, genética ou enzimática (KAUR et al., 2012). Pode ser quimicamente modificado por meio de derivatização, utilizando eterificação, esterificação, ligação cruzada ou substituição (SINGH et al., 2007; KAUR et al., 2012).

Para a modificação física do amido, utiliza-se tratamento físico com calor, umidade, (SINGH et al., 2007), micro-ondas, radiação ou extrusão (KAUR et al., 2012).

Os avanços da engenharia genética possibilitam modificar geneticamente o amido, na própria planta, através de sequências alvo de enzimas da via biossintética do amido (KAUR et al., 2012). O grânulo de amido pode ser modificado por meio de decomposição (hidrólise ácida ou enzimática e oxidação) (SINGH et al., 2007). Os amidos modificados enzimaticamente são indicados como substitutos de gordura (SAJILATA; SINGHAL, 2005; MA et al., 2006; ALTING et al., 2009; KHATOON et al., 2009; VAN DER MAAREL; LEEMHUIS, 2013).

A hidrólise enzimática é uma forma de modificação feita nos grânulos do amido de milho, por exemplo, caracterizando-os com tamanho de partícula de 2 a 4  $\mu\text{m}$  (MA et al., 2006) e com capacidade de inchamento, formas de manter a sensação da gordura na boca, pois são percebidos pela língua humana como um creme ou fluido macio (LUCCA; TEPPER, 1994; WANG et al., 2013).

Existem patentes de amido atuando como substituto de gordura em pão, conjuntamente com algum tipo de hidrocoloide, polímero, gordura, emulsificante e/ou proteína (CHO et al., 1999). Há, também, patentes de amido modificado enzimaticamente atuando como substituto de gordura em pães em geral, pertencentes aos grupos A23L 1/09, C08B 30/20 e A21D 13/06, de acordo com a Classificação Internacional de Patentes, caracterizados respectivamente por alimentos que contenham amido hidrolisado; amilose ou amilopectina, como derivados químicos; pão com amido modificado. E, dentre essas patentes, pode-se destacar:

- Harris, D.W.; Little, J.A. Amilopectina (fragmentada, desramificada e precipitada) derivada de amido, atuando como substituto de gordura. EP Pat. 0 529 894 A1, 14 ago. 1992. 21p., European Patent Office – Munique, Alemanha;

- Surdiacourt, C. Substituto de gordura para aplicação em panificação e confeitaria. Mistura de mono e diglicerídeos juntamente com goma, para aumentar a viscosidade. EP Pat. 1 982 597 A1, 20 abr. 2007. 15p., European Patent Office – Munique, Alemanha;

- Mueller, R.; Innerebner, F. Alimentos com base em amido geleificado. WO2004032649 A1, 22 abr. 2004. 15p., World Intellectual Property Organization – Genebra, Suíça;

- Harris, D.W.; Little, J.A. Amilopectina (fragmentada, desramificada e precipitada) derivada de amido, atuando como substituto de gordura. WO 93/03630, 04 mar. 1993. 53p., World Intellectual Property Organization – Genebra, Suíça.

#### 1.1.4.3.1 Modificação enzimática do amido de milho

As enzimas são catalisadores complexos, proteínas globulares que, em determinada temperatura, aceleram a velocidade das reações químicas (DAMODARAN et al., 2010). Hidrolases que atuam nas ligações glicosídicas  $\alpha$ -1-4 e  $\alpha$ -1-6 são conhecidas como amilases. A  $\alpha$ -amilase e a  $\beta$ -amilase são enzimas que hidrolisam o amido, podendo proporcionar tanto açúcares para posterior fermentação e utilização por micro-organismos, quanto açúcares redutores que participam do escurecimento não enzimático, alteram a textura, a palatabilidade, a rugosidade e a doçura dos alimentos (DAMODARAN et al., 2010).

A  $\alpha$ -amilase ( $\alpha$ -1-4-D-glicano glicano-hidrolase; EC 3.2.1.1) é uma endoenzima (VAN DER MAAREL et al., 2002; YOOK; ROBYT, 2002) capaz de hidrolisar internamente, ao acaso, (COPELAND et al., 2009) as ligações glicosídicas  $\alpha$ -1-4 em polímeros de cadeia longa (YOOK; ROBYT, 2002). Quando age sobre a amilose, ocasiona decréscimo da viscosidade. No ataque à amilopectina, as ligações  $\alpha$ -1-6 não são hidrolisadas. O tratamento da amilose e amilopectina com  $\alpha$ -amilase resulta em maltose e glicose (DAMODARAN et al., 2010).

A  $\beta$ -amilase ( $\alpha$ -1-4-D-glicano malto-hidrolase; EC 3.2.1.2) é uma exoenzima (VAN DER MAAREL et al., 2002). Ataca somente a unidade final das cadeias do amido, ou seja, retira unidades de maltose do extremo não redutor da cadeia de amilose (MORIYAMA; IKEDA, 1996). Como a maltose incrementa o sabor doce, a  $\beta$ -amilase é denominada,

também, de enzima sacarificante (DAMODARAN et al., 2010).

A amiloglicosidase ou glicoamilase (EC 3.2.1.3) é uma exoenzima (COPELAND et al., 2009)  $\alpha \rightarrow \beta$  inversora, que hidrolisa unidades de glicose a partir da extremidade não redutora de fragmentos lineares de amido. Embora a glicoamilase seja seletiva para ligações  $\alpha$ -1-4-glicosídicas, age devagar sobre as ligações  $\alpha$ -1-6 - características da amilopectina e da pululana. Logo, o produto exclusivo da digestão exaustiva da glicoamilase é a glicose (DAMODARAN et al., 2010). A ação da glicoamilase e da pululanase, denominadas conjuntamente de dextrozima, hidrolisando o amido, destaca-se pela eficiência (MA et al., 2006). As pululanases do tipo I (EC 3.2.1.41, pululana 6-glicano-hidrolase) são chamadas de enzimas “desramificadoras” ou “dextrinases-limite”, pois hidrolisam dextrinas que contêm as ligações glicosídicas  $\alpha$ -1-6. Estas constituem os pontos de ramificação da amilopectina. A pululanase pode agir sobre fragmentos maiores, mas não menores que a pululana, uma unidade repetitiva de  $[\alpha\text{-D-Glc-(1}\rightarrow\text{4)-}\alpha\text{-D-Glc-(1}\rightarrow\text{6)-}\alpha\text{-D-Glc-(1}\rightarrow\text{4)-}\alpha\text{-D-Glc}]$  age lentamente sobre a amilopectina, e prefere dextrinas-limite que são produzidas durante os estágios avançados da liquefação e da sacarificação do amido. Seus produtos são glicoligossacarídeos lineares pequenos, como a maltose (DAMODARAN et al., 2010).

As pululanases do tipo II (ou amilopululanases, EC 3.2.1.41) têm atividade combinada  $\alpha$ -amilase-pululanase e podem hidrolisar tanto ligações  $\alpha$ -1-4 como  $\alpha$ -1-6 no amido (DAMODARAN et al., 2010). O processo de hidrólise modifica o amido, podendo ser utilizado para a produção de xarope, dextrina, adoçante, substituto de gordura e como agente antienvelhecimento e melhorador da maciez em produtos de panificação (DAMODARAN et al., 2010).

O processo industrial de hidrólise enzimática do amido inicia com uma suspensão de amido de 30 a 40 % em sólidos, no pH de 4,5. A “liquefação” do amido, seguindo ajuste do pH para 6,0–6,5, ocorre por aquecimento breve a 105 °C, para gelatinizá-lo. Então, com a temperatura a 90–95 °C por 1 a 3 horas, na presença de  $\alpha$ -amilase termoestável, com adição de  $\text{Ca}^{2+}$ , que é fortemente ligado e serve para estender a estabilidade da enzima ao pH entre valores de 6,0 a 10,0 obtém-se uma mistura de dextrinas lineares e ramificadas (maltodextrinas) com extensão de hidrólise no intervalo de 8 a 15 DE (DE = dextrose equivalente), o que é suficiente para prevenir a gelatinização do amido no resfriamento para etapas subsequentes (DAMODARAN et al., 2010).

A partir desse ponto do processo há etapas alternativas: produção

de maltodextrinas de 15-40 DE, que permite a produção de xaropes de milho usados como espessantes, agentes de corpo e produção de viscosidade; produção de adoçante com glicoamilase; produção de adoçante com  $\alpha$ - ou  $\beta$ -amilase fúngica; produção de gel termo reversível não adoçante (DAMODARAN et al., 2010).

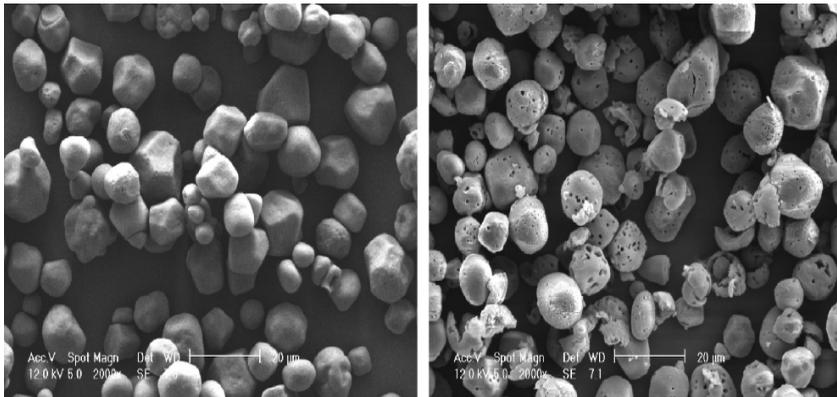
Gel termo reversível não adoçante pode ser obtido a partir da solução de amido inicialmente tratado, seguindo o processo sob ação de diversas  $\alpha$ -amilases adicionadas antes que o amido seja aquecido progressivamente ao ponto de gelatinização. O resultando é um padrão e grau de hidrólise (DE 5-8) controlado, que gera dextrinas grandes, produtos da hidrólise do amido, formando, assim, géis termo reversíveis com perfil de atuação como mimetizante de gordura (WOODS; SWINTON, 1995; KHATOON et al., 2009).

A conversão eficiente do amido nativo em açúcares, por meio da utilização de enzimas hidrolisantes, depende das características do amido, composição, morfologia, estrutura molecular e granular, as quais influenciam a taxa e a extensão da hidrólise amilolítica. A hidrólise de um amido nativo, com amilases, ocorre em várias etapas, difusão da superfície sólida, adsorção e catálise (OATES, 1997; FORESTI et al., 2014). A taxa da hidrólise é inicialmente rápida, tornando-se contínua e mais lenta ao longo do processo (JAYAKODY, HOOVER; 2002; KIM et al., 2008; FORESTI et al., 2014), sendo que as amilases afetam os grânulos de amido de duas formas: exocorrosão (erosão da superfície dos grânulos, resultando em fissuras e orifícios) ou endocorrosão (hidrólise dos canais de pontos selecionados na superfície para o centro do grânulo ocasionando a fragmentação do mesmo) (OATES, 1997).

O tratamento enzimático modifica os grânulos de amido com relação às propriedades de hidratação (claridade da pasta, índice de solubilidade, capacidade de inchamento) e à composição química (conteúdo de amilose, açúcares e amido danificado), caracterizando-os como estruturas porosas. Fatores como a temperatura, o pH e o tipo de enzima utilizada no tratamento enzimático afetam os resultados obtidos: a microestrutura superficial e a morfologia interna do grânulo (DURA et al., 2014).

A Figura 2(a) ilustra que grânulos de amido de milho possuem forma arredondada poligonal, com superfície relativamente lisa e isenta de poros e fissuras, enquanto que nos grânulos de amido de milho modificado enzimaticamente, Figura 2(b), pode-se observar fissuras e poros expondo parte da estrutura granular (KHATOON et al., 2009) com perda da forma original (KIM et al., 2008).

Figura 2 - Microscopia eletrônica de varredura do controle e do amido de milho hidrolisado enzimaticamente.



Microscopia eletrônica de varredura de grânulos de amido de milho: nativo (esquerda); digerido (direita). Escala: 20  $\mu\text{m}$ .

Fonte: Adaptada de Blazek e Gilbert (2010).

O grânulo de amido possui característica de estrutura com anéis concêntricos, desde o hilum central à superfície (LE CORRE et al., 2010). É nessa estrutura que coexistem moléculas lineares (amilose) e ramificadas (amilopectina), unidas por ligações de hidrogênio, resultando, assim, em regiões cristalinas (MUKERJEA; ROBYT, 2010) ou micelas. E, são justamente essas regiões que controlam o comportamento do grânulo de amido, na presença de água, os tornando mais ou menos resistentes aos ataques enzimáticos (BILIADERIS, 1992).

A hidrólise do amido é normalmente caracterizada pelo valor de Dextrose Equivalente (DE), o qual está relacionado ao grau de hidrólise. A glicose pura tem DE de 100 e o amido, zero. O valor de Dextrose Equivalente indica a medida na qual o amido foi clivado. Segundo Khatoun e colaboradores (2009), dispersão de amido de milho a 10, 15 e 20 % produz valores de DE de 8,2, 6,3 e 5,3, respectivamente, durante os 5 minutos iniciais da reação. Valores de DE de 10 e 15 % para dispersão de amido de milho aumentam progressivamente até os 30 minutos, alcançando 11,4 e 8,6 respectivamente. E, diminuindo os valores DE para 10,8 e 4,9, aos 40 minutos da reação. E, para a dispersão de 20 % de amido de milho, crescimento do valor de DE de 5,3 para 6,4, no intervalo de tempo de 5 a 30 minutos de reação. E, aos 40 minutos, DE com valor de

6,4 para a dispersão de 20 % de amido de milho.

Portanto, hidrólise de dispersão de amido de milho, na concentração de 10 e 15 %, resulta em valores de DE de 8 a 11,4, durante 30 minutos de reação, os quais são comparáveis aos valores de DE (de 8 a 12) para amido comercial indicado para agir como substituto de gordura (DUPUY et al., 1997, apud KHATOON et al., 2009; BYARS, 2002, apud KHATOON et al., 2009).

Um carboidrato atua como substituto de gordura a partir da interação dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio. No caso de substitutos de gordura derivados de amido, o componente lipofílico se complexa com a amilose, dirigindo-se ao interior da estrutura da mesma. E, na hélice formada pelas repetidas unidades de glicose, os grupos hidroxila se orientam para o exterior, formando uma região hidrofóbica no interior da hélice (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; IMMEL; LICHTENTHALER, 2000; NUSSLI et al., 2003).

### 1.1.5 PANIFICAÇÃO

A crescente demanda dos consumidores por alimentos variados e saudáveis tem conduzido a indústria de alimentos a desenvolver produtos que aliem valor nutricional ao estilo de vida moderno, melhorando a disponibilidade de variedade e a qualidade de produtos, como o pão, particularmente, por ser um alimento básico (POLAKI et al., 2010).

O consumo de pães saudáveis é fruto do desenvolvimento de quesitos que combinam os benefícios à saúde com as propriedades sensoriais (FOSCHIA et al., 2013).

Em 2011, a população brasileira consumiu cerca de 993 mil toneladas de pães, o que gerou um faturamento de 3,2 bilhões de reais (ABIMA, 2013), mostrando, assim, um mercado expressivo. Além disso, o consumo de pão no Brasil aumentou, de 2005 para 2013, de 27 para 34,09 kg/pessoa/ano (PROPAN, 2013). Conforme dados da Organização Pan-americana da Saúde (OPAS, 2007), a terça parte do consumo de gordura trans no continente americano é utilizada em produtos de panificação

Com relação à qualidade de um pão, a aparência e a textura são os dois atributos desejados (SCANLON; ZGHAL, 2001). Uma forma de proporcionar parâmetros agradáveis de textura a alimentos como pães, produtos de confeitaria, sorvetes e chocolates é utilizar gorduras industrializadas na formulação, as quais muitas vezes são caracterizadas como danosas à saúde (OMS, 2011).

### 1.1.5.1 Componentes da massa do pão

Na panificação, juntamente com o trigo, a água é o ingrediente mais importante, já que ambos afetam a textura e o miolo. Em uma determinada elaboração de pão, a farinha de trigo participa sempre com 100 %. A quantidade de participação dos outros ingredientes está em cerca de 2 % para o fermento (para levedar o pão), 2 % para o sal (para impulsionar o glúten e para controlar a expansão da massa), 4 % para o açúcar (para iniciar a fermentação) e 3 % para a gordura (MONDAL; DATTA, 2008). No entanto, oscilações nos percentuais de cada um dos ingredientes podem caracterizá-los com participação sinérgica ou antagônica ao processo.

#### 1.1.5.1.1 Água

A Portaria nº 2.914 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) (BRASIL, 2011) define água para consumo humano como sendo: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem. As metodologias analíticas para determinação dos parâmetros previstos, ao padrão de potabilidade, nesta Portaria, Seção V – Art. 22, atendem às normas nacionais e internacionais: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (WEF)*; *United States Environmental Protection Agency (USEPA)*; normas publicadas pela *International Standardization Organization (ISO)*; e metodologias propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

A água, na panificação, auxilia à formação do glúten, funcionando como meio de transferência de metabólitos para o crescimento do fermento, sendo que contribui para a elasticidade, a consistência e a textura da massa do pão (EL-DASH et al., 1984). Ao ser adicionada, como ingrediente, possui quatro funções: dissolver moléculas solúveis, ativar enzimas, propiciar ligações entre constituintes da farinha e alterar propriedades reológicas da massa (SPIES, 1990).

A quantidade de água adicionada para elaboração da massa do pão, hidrata os ingredientes que fazem parte da massa, que é absorvida, principalmente, por grupos hidrofílicos das moléculas de proteínas. Se a quantidade de água não for suficiente para hidratação, há comprometimento do glúten e da elasticidade natural da massa. O excesso

de água, por sua vez, causa diminuição da resistência à extensão e caracterização da massa como sendo pegajosa (SPIES, 1990).

Na elaboração de pães, a farinha de trigo integral requer mais água (em torno de 59 % do peso da farinha) do que a farinha de trigo branca (na faixa de 53 %) (BARROS, 2010).

A maior absorção de água e o maior tempo de mistura da massa com farinha de trigo integral são necessários para hidratação e desenvolvimento do glúten, pelo fato de as proteínas competirem, com as fibras, pela água disponível (FRIEND et al., 1992). Na presença de farelo, a água precisa ser redistribuída, o que ocasiona desidratação parcial do glúten, afetando assim o volume do pão. Como consequência, ocorrem mudanças conformacionais no glúten não hidratado. Ou seja, quando farelo é adicionado à massa, com baixo conteúdo de umidade (35 a 45 %), a redistribuição da água ocasiona conversão da estrutura secundária do glúten, de  $\beta$ -espiral para  $\beta$ -folha (BOCK; DAMODARAN, 2013).

O amido danificado possui grande capacidade de absorção de água quando comparado com grânulos de amido nativos (BARRERA et al., 2013), porque possui fissuras e fendas que facilitam a penetração da água (CAUVAIN; YOUNG, 2009). O grânulo de amido pode ter a integridade afetada através da ação mecânica durante o processo de moagem, sendo que o grau de dano depende da dureza do grão, da técnica de moagem, do tempo do processo e da força aplicada (TESTER, 1997). De forma geral, um grânulo de amido intacto pode absorver de 39 a 87 % do próprio peso em água, enquanto o grânulo de amido danificado, de 200 a 430 % (BERTON et al., 2002).

#### 1.1.5.1.2 Fermento biológico

O fermento biológico é a força motriz para a fermentação (CAMPBELL, 2003). Trata-se de uma levedura, denominada *Saccharomyces cerevisiae*, que tem o intuito, simplificada, durante a fermentação, de produzir álcool etílico, dióxido de carbono (CAUVAIN; YOUNG, 2009) e ácidos orgânicos (ácido acético e ácido láctico), como subprodutos (JAYARAM et al., 2013). Além da habilidade em levedar a massa, também auxilia no fortalecimento e desenvolvimento do glúten e contribui com sabor e odor (CAMPBELL, 2003; BIRCH et al., 2013).

É o dióxido de carbono, produzido na fermentação, que diferencia os produtos de panificação de outros (MONDAL; DATTA, 2008), caracterizando-os em diferentes texturas de acordo com a

densidade celular do miolo do produto. A incorporação do ar na massa, durante o processo de mistura, e a estabilização das células, ao longo do processo de panificação, definem o volume e a estrutura do miolo do pão (GAN et al., 1995).

O fermento metaboliza facilmente a sacarose adicionada à massa, o que promove fermentação vigorosa e prolongada (CARLSON, 1997). Além disso, o fermento biológico tem acesso, durante o processo de fermentação, à pequena porção de açúcares livres presentes na farinha de trigo (0,3 a 0,5 %, principalmente glucose, frutose, sacarose e maltose), que funcionam como fonte de carbono (MacARTHUR; D'APPOLONIA, 1979).

#### 1.1.5.1.3 Sal

O sódio é um nutriente essencial em pequenas quantidades, sendo, principalmente, consumido como cloreto de sódio (NaCl). Todavia, níveis elevados de ingestão de sódio estão associados à elevação da pressão arterial, que ocasiona doenças cardiovasculares. Segundo o Guia Alimentar dos Estados Unidos, a ingestão tolerável de sódio para adultos é de 2.300 mg/dia, havendo registros de consumo médio de 3.400 mg/dia (USDA, 2010).

Restrições moderadas na ingestão de sal têm o potencial de reduzir a pressão arterial média. Na elaboração de pães, a diminuição da quantidade de sal, pode reduzir índices de morbidade e mortalidade, causados por doenças cardiovasculares (LYNCH et al., 2009).

O cloreto de sódio, além de proporcionar sabor salgado na elaboração da massa do pão (MILLER; HOSENEY, 2008), possui outras funções, como: influenciar o comportamento do glúten e a força estrutural da massa (MILLER; HOSENEY, 2008; HEIDOLPH et al., 2011), induzindo à orientação e ao fortalecimento da rede de glúten (CORREA et al., 2014); controlar a fermentação (HEIDOLPH et al., 2011), diminuindo a produção de gás a partir do decréscimo da atividade metabólica do fermento (MILLER; HOSENEY, 2008); reduzir a água disponível ao crescimento microbiano (HEIDOLPH et al., 2011).

O sal influencia o crescimento do fermento, repercutindo na sua atividade metabólica, devido à pressão osmótica e à ação dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  na membrana semipermeável das células fermentativas. Quando a adição de sal na massa do pão é reduzida, aumenta a expansão gasosa ( $\text{CO}_2$ ) e a capacidade de retenção da massa, durante a fermentação (MILLER; HOSENEY, 2008). No entanto, há pesquisas em que a redução

de sal, de 1,2 a 0,3 %, na elaboração de pães, não afeta as propriedades reológicas da massa, mesmo havendo a indicação sensorial da necessidade de melhoria do sabor (LYNCH et al., 2009). A ausência de sal, por outro lado, causa redução do volume específico do pão (CZUCHAJOWSKA et al., 1989).

A presença de cloreto de sódio na massa influencia a força do glúten. A proteína do glúten contém aminoácidos hidrofóbicos, em quantidade elevada, e aminoácidos com carga, em menor quantidade. A presença de cloreto de sódio pode proporcionar um mecanismo de blindagem eletrostática de alguns aminoácidos na superfície da proteína, retardando assim a hidratação da mesma. A redução da carga superficial da proteína, na presença de NaCl, reduz a repulsão eletrostática entre moléculas de proteína e permite que as proteínas interajam com mais proximidade por meio de interações hidrofóbicas que propiciam a estrutura proteica intermolecular  $\beta$ -folha (WELLNER et al., 2005). Isso faz com que a proteína tenha estrutura mais rígida e fibrosa, com comportamento endurecido e tensionado da massa, que resiste à extensão de deformação (McCANN; DAY, 2013). Ou seja, na presença de cloreto de sódio, a rede de glúten e a estrutura proteica fibrilar alongada são formadas retardadamente. Entretanto, o efeito do cloreto de sódio para melhorar a resistência da massa à deformação depende da farinha utilizada, em termos proteicos. O uso do sal tem efeito maior sobre a força do glúten na massa quando se utiliza farinha com baixo teor proteico, comparado com farinha com alto teor em proteínas (McCANN; DAY, 2013).

#### 1.1.5.1.4 Açúcar

Os açúcares são ingredientes importantes adicionados aos produtos de panificação. Além de proporcionarem sabor doce (EL-DASH et al., 1984), afetam a fermentação (MONDAL; DATTA, 2008), a aparência, o tamanho, a cor e a textura dos produtos acabados (LAI; LIN, 2006), além de influenciarem o comportamento estrutural dos ingredientes e a segurança microbiológica (STIEGER, 2011). Existem muitas opções de açúcares disponíveis, e o tipo escolhido a ser usado depende do grau de doçura necessário; das funções do açúcar na massa do produto (pão ou biscoito, por exemplo); da aparência e da textura desejadas ao produto pronto (LAI; LIN, 2006).

A sacarose é o adoçante mais comum utilizado em nível doméstico e também o mais importante, nutricionalmente, à indústria de

alimentos, pois provê sabor doce “limpo”, sem resíduos, e está disponível com variedade de tipos e tamanhos de partículas, sendo, portanto, o mais comumente utilizado na panificação (LAI; LIN, 2006).

A redução da quantidade de sacarose, utilizada em produtos de panificação, pode causar prejuízos detectáveis com relação à aparência, textura, sabor e sensação na boca, afetando assim, as propriedades reológicas e propriedades de textura dos alimentos. As massas de pão sem adição de açúcar podem ser caracterizadas como mais duras e com maior resistência à tensão do que massas com açúcar, que são macias, com textura mais viscosa (MARIOTTI; ALAMPRESE, 2012) e extensibilidade melhorada (SALVADOR et al., 2006).

Em produtos fermentados, como pães, o fermento biológico utiliza o açúcar, adicionado à massa, para produzir álcool e dióxido de carbono. No entanto, o fermento biológico não consome todo o açúcar. O açúcar que fica disponível contribui ao sabor, volume, cor da crosta e retenção de umidade (NIP, 2006).

A afinidade da sacarose com a água, em uma massa de pão, tem sido associada à redução da disponibilidade das moléculas de água, o que inibe a absorção de água pelo amido e pelo glúten, presentes na farinha de trigo (SALVADOR et al., 2006). Esse processo resulta em massas menos consistentes, que requerem maior tempo de desenvolvimento da massa à formação da rede proteica (SALVADOR et al., 2006). A sacarose interage com as moléculas de água, tornando-as indisponíveis ao amido. A presença de açúcar, durante a gelatinização do amido, impede o intumescimento do mesmo em um sistema com água, o que retarda a gelatinização. Assim, concentrações elevadas de açúcar inibem o intumescimento normal dos grânulos de amido (OLKKU; RHA, 1978).

#### 1.1.5.1.5 Gordura

A farinha de trigo e os *shortenings* são duas fontes de lipídeos presentes em uma fórmula básica de pão (PAREYT et al., 2011). O termo *shortening* é utilizado para definir um grupo de lipídeos sólidos, formulado especialmente para aplicações em panificação (PAREYT et al., 2011). *Shortenings* são tipicamente formados por 100 % de gordura animal e/ou vegetal, que foi cuidadosamente processada e desodorizada. O *shortening* é um exemplo clássico de gordura plástica altamente funcional, preparada comercialmente sob leve refrigeração, plastificando e temperando corretamente o *blend* de óleos e gorduras fundidos. A plasticidade de um *shortening* se deve à presença das fases líquida e

sólida, onde a fase sólida deve estar finamente dispersa em toda matriz sólido-líquida e unida por forças internas de coesão em uma proporção adequada (METZROTH, 2005), formando uma matriz cristalina tridimensional. Assim, a fase sólida retém a porção líquida, conferindo plasticidade e rigidez ao sistema (PAREYT et al., 2011). A seleção do *shortening* adequado à determinada aplicação depende da contribuição da porção sólida do *shortening* à estrutura da massa e ao produto final, e depende da entrada de bolhas de ar durante a fase de mistura (O'BRIEN, 2005).

Nos produtos de panificação, a quantidade de gordura utilizada (baseada no peso da farinha) é variável, 3 % para pães, 50 % para bolos e 60 % para *cookies* (AACC, 2000). A gordura, como ingrediente da elaboração de produtos panificáveis, possui as seguintes funções: plastificar e lubrificar a massa (GHOTRA et al., 2002; PAREYT et al., 2011); propiciar maleabilidade e maciez (MONDAL; DATTA, 2008) evitando a adesão entre as partículas do glúten, característica que retarda, assim o envelhecimento (LAI; LIN, 2006); estruturar o miolo; aumentar o volume; estabilizar as células gasosas (PAREYT et al., 2011); facilitar o processo diminuindo a aderência da massa aos equipamentos (ESTELLER, 2004); retardar o envelhecimento (KULP; PONTE, 1981) e contribuir ao sabor e odor (CCC, 2011).

Em um produto de panificação, sem adição de *shortening*, o glúten e as partículas de amido aderem-se mutuamente, fator que propicia a sensação de dureza quando mastigado. No entanto, quando o *shortening* compõe a formulação do produto, a gordura interfere na continuidade da estrutura da proteína e do amido. A massa, então, é reforçada e propicia à retenção de gás no estado inicial do assamento (GHOTRA et al., 2002), resultando, assim, em produtos mais macios e com melhor aeração (MATTIL, 1964a, apud GHOTRA et al., 2002).

Na presença de água, durante o processo de mistura da massa, as frações lipídicas da farinha de trigo e o *shortening* adicionado revestem a matrix proteica de glúten (McCANN et al., 2009; PAREYT et al., 2011). A fração sólida do *shortening* reveste a matrix de glúten, fortalecendo-a, reduzindo a absorção de água e propiciando maior retenção de gás durante o crescimento fermentativo do produto (CHIN et al., 2010).

Os lipídeos da farinha de trigo associam-se à proteína do glúten através de forças hidrofóbicas e polares (McCANN et al., 2009). Essa associação - lipídeos com proteínas do glúten - propicia aos lipídeos a capacidade de alinhamento à interface das células gasosas durante as fases iniciais de mistura da massa e de aumento da estabilidade das células

gasosas (PAREYT et al., 2011). Dentre as classes de lipídeos, os apolares associam-se à rede polimérica da glutenina, por meio de interações hidrofóbicas ou imersos dentro da matrix do glúten; os glicolipídeos associam-se às gluteninas através de interações hidrofóbicas e ligações de hidrogênio e os fosfolipídeos interagem com gliadinas e proteínas (McCANN et al., 2009).

O *shortening* impacta na incorporação de ar e na estabilização da massa durante o processo de mistura. Isso pode ser constatado devido à distribuição uniforme da parte sólida do lipídeo na rede proteica de glúten e entre os grânulos de amido, recobrando e deixando o filme de glúten mais delgado e com menor tendência à contração depois de expandido. O fato de os cristais lipídicos, simultaneamente ao desenvolvimento da rede de glúten durante o processo de mistura, terem contato com a interface das células gasosas, estabilizando-as, é outro fator determinante para o estado do filme de glúten (PAREYT et al., 2011).

Durante o processo de fermentação, o *shortening* afeta a retenção de gás por intermédio da adsorção dos cristais lipídicos à interface das células gasosas (PAREYT et al., 2011). Durante o assamento da massa do pão, lipídeos presentes na farinha de trigo continuam a estabilizar as células gasosas; alguns complexam-se com a amilose. O *shortening* adicionado derrete e interage com a interface das células gasosas, continuando a estabilizá-las, expandindo-as (PAREYT et al., 2011).

### 1.1.5.2 Processo da panificação

A estrutura do pão é um atributo influenciado pela composição, e que repercute na textura, no volume, nas características sensoriais e na aparência do mesmo (SCANLON; ZGHAL, 2001).

Além dos ingredientes que compõem a massa, é também fundamental o procedimento seguido: amassamento, fermentação e cocção (HOSENEY, 1991; AIT KADDOUR et al., 2008).

O amassamento ou processo de mistura da massa compreende duas etapas, a homogeneização dos ingredientes para formar a massa, e o processo de sova, quando há o desenvolvimento da rede de glúten (CAUVAIN, 2000, apud TIWARI et al., 2011). O processo de mistura da massa caracteriza-se pela dispersão uniforme dos ingredientes que fazem parte da formulação; dissolução e hidratação dos ingredientes, especialmente as proteínas da farinha e o amido danificado; desenvolvimento da estrutura do glúten na massa a partir da energia mecânica aplicada; incorporação de bolhas de ar na massa e formação da

massa com propriedades reológicas adequadas ao processamento subsequente (CAUVAIN, 2012).

No processo de mistura da massa, com a adição da água e dos outros ingredientes à farinha de trigo, e aplicando-se energia cinética pelo processo de mistura (SCANLON; ZGHAL, 2001), forma-se a rede desenvolvida de glúten (PAREYT et al., 2011). A água adicionada à massa é absorvida pelos grupos hidrofílicos das moléculas de proteína, mesmo com a absorção pelo amido (SCANLON; ZGHAL, 2001).

É durante esse processo de mistura da massa que tem início a formação da fase gasosa em que as bolhas de ar alcançam a estabilização (MILLS et al., 2003; SALVADOR et al., 2006) e são incorporadas gradualmente pela rede proteica viscoelástica (SINGH; MacRITCHIE, 2001). É possível, dessa forma, evitar a coalescência e prevenir o desprendimento das mesmas (SALT et al., 2006). O ar que é incorporado à mistura (PAREYT et al., 2011) influencia a textura final do pão (PEIGHAMBARDoust et al., 2010), caracterizando a estrutura do miolo (SCANLON; ZGHAL, 2001).

As bolhas de ar formadas durante o processo de mistura da massa são expandidas pelo dióxido de carbono produzido pelo fermento (GAN et al., 1995). Durante o processo de fermentação e crescimento da massa, o fermento converte glicose em dióxido de carbono e etanol, ocasionando células gasosas maiores, o que repercute no volume na massa do pão (PAREYT et al., 2011).

O dióxido de carbono é produzido na fase aquosa da massa, difundindo-se até as células gasosas (geradas na mistura da massa), onde é evaporado, gerando assim, dentro dessas bolhas, uma pressão excessiva que as expande. A estrutura formada, como espuma, é mantida pelas membranas finas que separam as células gasosas adjacentes (membrana superficial do filme líquido que envolve as células gasosas), no decorrer do processo de fermentação da massa do pão (GAN et al., 2006). Nessa etapa do processamento evidencia-se inter-relação física entre a produção gasosa, a expansão da massa, a gelatinização do amido e os parâmetros reológicos (MONDAL; DATTA, 2008).

A estruturação do miolo do pão e a distribuição do tamanho das células gasosas na massa, caracterizam a textura (SCANLON; ZGHAL, 2001), já que a fase gasosa de elaboração dos pães contribui com mais de 70 % do volume final e influencia os atributos de textura sensorial (MILLS et al., 2003).

Durante o forneamento, o calor envolvido e a transferência de massa na superfície do produto causam mudanças estruturais nos

componentes do pão (TIWARI et al., 2011). Há expansão do pão, continuidade da ação do fermento, expansão do dióxido de carbono por aquecimento e vaporização do etanol e da água adicionada (PAREYT et al., 2011).

Os grânulos de amido, aprisionados como material de enchimento na rede de glúten, reforçam essa rede à medida que começam a inchar após o aquecimento. Essa hipótese é validada porque o intervalo de temperatura em que as maiores mudanças reológicas ocorrem ser consistente com a temperatura de gelatinização do amido (SALVADOR et al., 2006).

Enquanto ocorre o assamento, a gelatinização do amido induz ao aumento da viscosidade da massa, resultando em aumento de tensão nas membranas das células gasosas, que se rompem. Por essa razão ocorre a conversão da estrutura de espuma em esponja (GAN et al., 2006).

O processo de assamento e a qualidade da farinha de trigo utilizada afetam a qualidade do pão (SVEC; HRUSKOVA, 2010). O processo de cocção ocasiona alterações físicas, químicas (TIWARI et al., 2011) e biológicas, como evaporação da água, formação da estrutura dos poros, expansão do volume, desnaturação das proteínas, gelatinização do amido e formação da crosta (MONDAL; DATTA, 2008; PAREYT et al., 2011). Essas modificações tornam o pão com as propriedades finais para ser consumido (PAREYT et al., 2011), caracterizando-o segundo aspectos sensoriais de qualidade. Os atributos de qualidade de um pão são: volume, cor, estrutura do miolo, firmeza (SKENDI et al., 2010), vida útil e crocância (MONDAL; DATTA, 2008).

Com os conhecimentos do processo de elaboração dos pães, associados aos benefícios metabólicos a partir do consumo de fibras, estudos mostram que a adição de fibra ao pão afeta a aparência e a textura (SKARA et al., 2013), diminuindo o volume devido à baixa retenção de gás o que deixa a textura áspera e gosto inusitado na boca (POMERANZ et al., 1977, apud COLLAR et al., 2007), já que a inserção de fibra na formulação do pão rompe a matriz glúten-amido (ROSELL; SANTOS, 2010), afetando o comportamento viscoelástico da massa (COLLAR et al., 2007).

A fonte de fibra, o tipo e o grau de processamento são os principais fatores que influenciam as propriedades funcionais de determinado alimento (solubilidade, viscosidade, gelatinização, capacidade de retenção de água) (ROSELL; SANTOS, 2010). Os efeitos de diferentes fontes de fibras, em diversas quantidades, resultam, por sua vez, em variados parâmetros e características de qualidade final dos pães

(ALMEIDA et al., 2013).

## 1.1.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E REOLÓGICAS

### 1.1.6.1 Teor de glúten

O princípio do método de análise do teor de glúten consiste em fazer uma massa com farinha de trigo (branca ou integral) e solução salina de cloreto de sódio 2 %, que deve ser em seguida lavada, para remoção do amido e de constituintes hidrossolúveis (polissacarídeos, minerais e proteínas não formadoras do glúten), utilizando o equipamento glutomatic. Em seguida, por centrifugação, obtém-se o glúten úmido. Após esse procedimento, o glúten é seco (utilizando o aparelho glutork) e pesado, possibilitando a determinação do teor de glúten seco, que pesa cerca de um terço do peso do glúten úmido (MONTENEGRO; ORMENESE, 2008; VÁZQUEZ, 2009). É possível, também, calcular o índice de glúten, colocando-se o glúten úmido na malha metálica do equipamento para ser centrifugado, sendo que a percentagem de glúten úmido que não passa pela malha é o índice de glúten (PALLARÉS et al., 2007). O procedimento de determinação do teor de glúten pode ser realizado manual ou com uso dos equipamentos glutomatic, centrífuga e glutork, que possibilitam maior reprodutibilidade ao método.

A determinação da quantidade e da qualidade do glúten na farinha é uma das melhores ferramentas para conhecer as potencialidades da mesma (PALLARÉS et al., 2007), já que o glúten é responsável pela retenção de gás na massa, o que confere leveza aos produtos fermentados (BECHTEL et al., 1977), estando então conectado à qualidade final dos produtos no que diz respeito à textura, forma e expansão (AMEMIYA; MENJIVAR, 1992).

### 1.1.6.2 Farinografia

A farinografia, análise em que é medida e registrada a resistência de mistura de uma massa, é utilizada para avaliar a absorção de água pelas farinhas e determinar a estabilidade das massas durante a mistura (AACC, 2000). A análise é feita por meio da utilização do farinógrafo, equipamento que simula o processo de mistura, medindo e registrando a resistência da massa (AACC, 2000) que se opõe a uma ação mecânica constante durante os estágios de desenvolvimento da mesma (SCHÜNEMANN; TREU, 1989).

No farinógrafo, a resistência que a mistura da massa (farinha e água) oferece às pás horizontais do equipamento é transmitida a um dinamômetro conectado a um sistema de alavanca e de escala, interligados a uma pena que traça a curva farinográfica (MONTENEGRO; ORMENESE, 2008).

A curva farinográfica registra exatamente como foi obtida a absorção de água pela farinha, a quantidade de água absorvida, corrigida para 500 Unidades Farinográficas (UF), a partir da correção da quantidade de farinha a ser utilizada para 14 % de umidade da farinha (AACC, 2000). Para interpretação da curva farinográfica tem-se: absorção de água, tempo de chegada, tempo de desenvolvimento da massa, tempo de saída, estabilidade da massa, índice de tolerância à mistura.

O percentual de absorção de água (ABS) é a quantidade de água requerida para o centro da curva farinográfica estar na linha de 500 UF. A quantidade de água adicionada é função da granulometria da farinha, do teor de glúten, do teor de amido (intacto e danificado) e do teor de celulose (NAEGA, 2008). Isso reflete a quantidade de água ótima que permite a elaboração dos produtos.

O percentual de absorção de água é um valor importante economicamente em panificação, pois, quanto maior for a absorção de água, maior será a quantidade de pão que se pode elaborar a partir de uma mesma quantidade de farinha. Um valor de absorção abaixo de 55 % (55 litros de água para cada 100 quilos de farinha de trigo) é considerado muito baixo, já que o valor considerado adequado deve ser maior do que 58 % (MONTENEGRO; ORMENESE, 2008) ou 60 % (VÁZQUEZ, 2009).

O tempo de chegada (TC) é o tempo, em minutos, registrado quando o topo da banda alcança a linha de 500 UF, a partir do início da adição de água, ou seja, o tempo de chegada mede a velocidade de absorção de água.

O tempo de desenvolvimento da massa (TDM) ou tempo de pico, em minutos, indica o tempo em que a massa alcança a consistência máxima, completamente desenvolvida e com a capacidade de reter gás (NAEGA, 2008).

O tempo de saída (TS), em minutos, indica o momento em que o topo da banda deixa a linha de 500 UF, ou seja, sinaliza o momento inicial de ponto de quebra da massa (NAEGA, 2008).

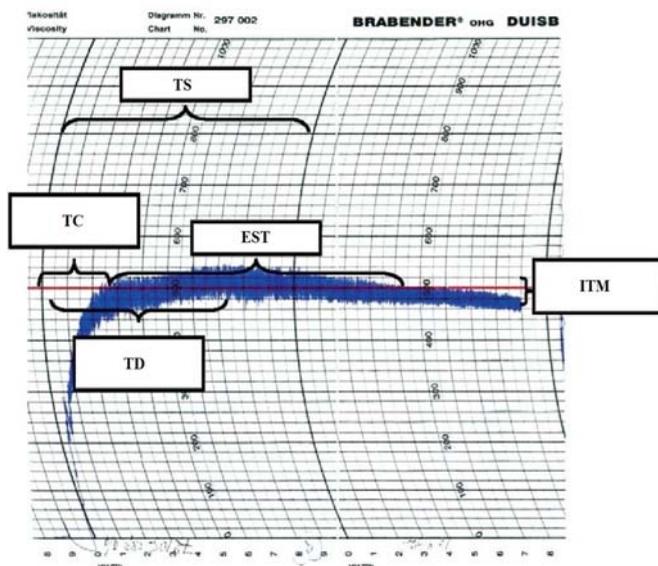
O tempo de estabilidade da massa (EST), em minutos, é a diferença existente entre o tempo de chegada e o tempo de saída e sinaliza

o tempo em que a massa mantém o máximo de consistência, indicando, portanto, a força da massa (NAEGA, 2008).

O índice de tolerância à mistura (ITM) é a diferença de consistência da massa (UF) entre o topo da banda no ponto máximo e o topo da banda, 5 minutos após o ponto máximo ter sido atingido (MONTENEGRO; ORMENESE, 2008).

A Figura 3 ilustra um farinograma típico da farinha de trigo.

Figura 3 - Farinograma típico da farinha de trigo.



TC: tempo de chegada; TD: tempo de desenvolvimento da massa; TS: tempo de saída; EST: estabilidade da massa; ITM: índice de tolerância à mistura.

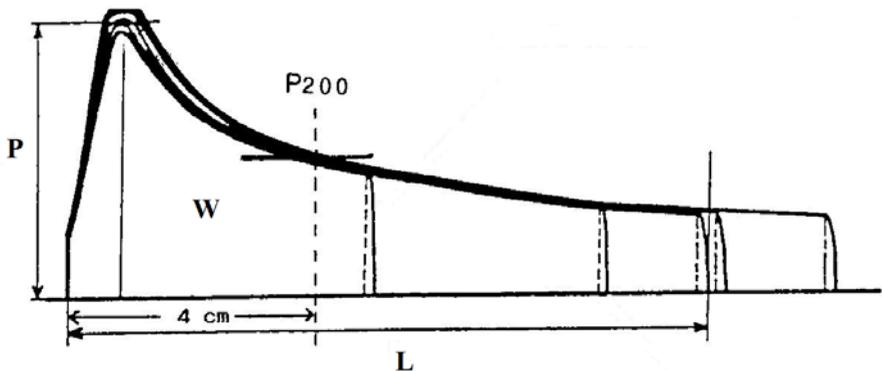
Fonte: Adaptada de Vázquez (2009).

### 1.1.6.3 Alveografia

A alveografia é a análise reológica que mede a resistência da massa à extensão (AACC, 2000). A análise é feita utilizando um alveógrafo, equipamento que registra a pressão de ar inflado dentro da bolha esférica de massa, em função do tempo (AACC, 2000; MONTENEGRO; ORMENESE, 2008).

Em um alveógrafo, a massa é preparada em uma amassadeira com 250 gramas de farinha e 125 mililitros de solução salina de cloreto de sódio 2,5 %, ajustada de acordo com o conteúdo de umidade da farinha, que é misturada durante 8 minutos. A massa é laminada, cortada em 5 discos e descansada por 20 minutos a 25 °C. Cada um dos discos é colocado no equipamento, preso por um aro e sujeito ao ar que é inflado à velocidade constante, formando uma bolha esférica. É registrada a pressão necessária para inflar a bolha de massa até o rompimento da mesma, obtendo-se uma curva denominada alveograma (VÁZQUEZ, 2009) (Figura 4).

Figura 4 - Alveograma típico da farinha de trigo.



W: força de glúten (área abaixo da curva); P: tenacidade; L: extensibilidade da massa.

Fonte: Adaptada da AACCC (2000).

A partir de um alveograma obtém-se os seguintes parâmetros: energia de deformação da massa ou força de glúten (W) ( $J \times 10^{-4}$ ), correspondente ao trabalho mecânico necessário para inflar a bolha até o rompimento (VÁZQUEZ, 2009). Quando o valor de W está entre  $200 \times 10^{-4} J$  e  $300 \times 10^{-4} J$  considera-se trigo com força de glúten indicado à panificação (MELLADO, 2006).

A tenacidade ou resistência máxima (P), altura máxima do gráfico (mm), indica a pressão máxima exercida no trabalho mecânico de expansão da massa (VÁZQUEZ, 2009), correspondente à capacidade de

absorção de água da farinha (MÓDENES et al., 2009).

A extensibilidade da massa (L) corresponde à distância desde o início da injeção de ar até o rompimento, representando a capacidade de extensão da massa sem que ela se rompa (VÁZQUEZ, 2009). É usada para prever o volume do pão, juntamente com o teor de proteína (MÓDENES et al., 2009).

A relação tenacidade/extensibilidade (P/L) expressa o equilíbrio da massa, sendo que para a fabricação de pães, o ideal são farinhas com valor de P/L entre 0,5 e 1,20 (MÓDENES et al., 2009).

O teste de alveografia simula o comportamento da massa durante o processo de fermentação, avaliando as características viscoelásticas (força e extensibilidade) da farinha de trigo por meio da utilização de diferentes parâmetros, os quais possibilitam caracterizar a aplicabilidade tecnológica da farinha avaliada (MÓDENES et al., 2009).

#### **1.1.6.4 Viscosidade**

Na análise rápida de viscosidade - ARV, o equipamento, analisador rápido de viscosidade, mede o comportamento da gelatinização e as propriedades de pasta do amido através de um viscosímetro, que controla a resistência da amostra durante o aquecimento e o resfriamento (MONTENEGRO; ORMENESE, 2008). O método baseia-se na alteração de viscosidade que ocorre quando grânulos de amido são hidratados, inchados e desintegrados, seguidos de possível realinhamento das moléculas durante o resfriamento. Este método pode ser aplicado ao estudo de farinhas de cereais e também de amido puro (AACC, 2000).

Durante o funcionamento do analisador rápido de viscosidade, o aquecimento do amido em água rompe as ligações de hidrogênio entre as cadeias poliméricas, enfraquecendo assim o grânulo. Isso caracteriza o intumescimento e a expansão inicial, o que faz com que a estrutura do grânulo de amido seja enfraquecida (THOMAS; ATWELL, 1999). À determinada temperatura inicia a gelatinização do amido e, por conseguinte a viscosidade de pasta (PALLARÉS et al., 2007). À medida que o aquecimento continua, a viscosidade atinge um ponto máximo e depois diminui, caracterizando, então, a dissolução do grânulo de amido e a perda da integridade da estrutura inicial, que vai sendo modificada com a diminuição da temperatura, podendo chegar à retrogradação, processo em que os polímeros de amilose e amilopectina solubilizados reassociam-se em uma estrutura ordenada por meio de ligações de

hidrogênio (THOMAS; ATWELL, 1999).

O tratamento térmico dado à massa é importante para a qualidade final dos produtos, pois induz aos fenômenos de gelatinização do amido e desnaturação da proteína (FALCÃO-RODRIGUES et al., 2005).

Na interpretação dos resultados do analisador rápido de viscosidade, os seguintes parâmetros podem ser considerados:

- Viscosidade máxima (cP): viscosidade máxima desenvolvida durante o período de aquecimento, indica a capacidade de ligação com a água (NEWPORT SCIENTIFIC, 2006);

- Tempo de viscosidade máxima (min): tempo de aquecimento no qual a viscosidade máxima de pasta ocorreu (COPELAND et al., 2009);

- Temperatura de pasta ou temperatura de gelatinização (°C): temperatura que corresponde ao ponto onde se inicia a formação de curva no gráfico, indica a temperatura mínima para o cozimento da amostra e também o custo da energia requerida (NEWPORT SCIENTIFIC, 2006);

- Quebra (*breakdown*) (cP): corresponde à quebra que ocorre no amido (amostra), ou seja, à diferença de viscosidade que existe entre a viscosidade máxima atingida graficamente e a viscosidade mínima (NEWPORT SCIENTIFIC, 2006);

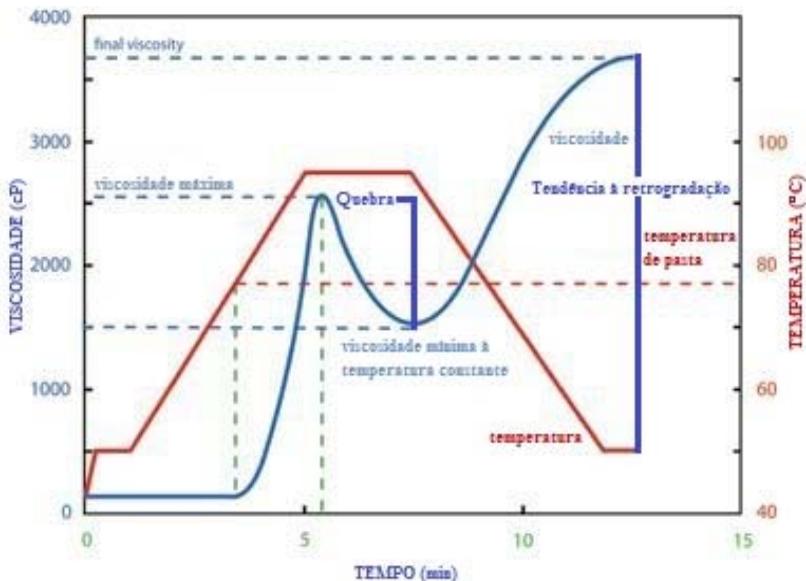
- Retrogradação (*setback*) (cP): corresponde à retrogradação do amido, ou seja, processo em que as cadeias de amido se reassociam em uma estrutura ordenada que favorece a cristalinidade do grânulo. À medida que decresce a temperatura, a viscosidade da amostra aumenta, do valor mínimo ao valor final, denominando a retrogradação. O alto valor da retrogradação está correlacionado ao conteúdo de amilose do amido (TANG; COPELAND, 2007);

- Viscosidade final (cP): valor da viscosidade, obtido no final do ciclo, após o resfriamento (NEWPORT SCIENTIFIC, 2006).

Esses parâmetros detectam diferenças entre as propriedades funcionais de determinadas amostras de amidos e/ou farinhas, diferenças essas que não se fazem tão evidentes com as análises químicas convencionais (COPELAND et al., 2009).

Um exemplo de curva de viscosidade típica no analisador rápido de viscosidade pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Curva de viscosidade típica em analisador rápido de viscosidade.



Fonte: Adaptada de Newport Scientific (2006).

## 1.1.7 QUALIDADE DOS PÃES

### 1.1.7.1 Volume

Dentre os atributos de qualidade do pão está o volume (SKENDI et al., 2010). Este pode ser afetado pelo tamanho das partículas do pericarpo do trigo presentes na farinha e pela quantidade de água absorvida (RABE, 1999). A estrutura do pão é um atributo influenciado pela composição, que repercute no volume, na textura, nas características sensoriais e na aparência do mesmo (SCANLON; ZGHAL, 2001).

De maneira geral, as fibras presentes na massa possuem efeito de diluição do glúten (MANDALA et al., 2009), interrompendo a rede glúten-amido, o que diminui a retenção de gás e o volume do pão

(SKARA et al., 2013). Além disso, a qualidade, portanto, o volume de um pão, é afetado pelo efeito dos hidrocolóides adicionados (natureza, origem e dosagem variada), pelas condições de processamento e por outros ingredientes presentes na formulação (SELOMULYO; ZHON, 2007) que podem interagir com a água, como os compostos não amiláceos, proteínas, dextrinas, açúcares, emulsificantes e enzimas (SCHIRALDI et al., 1996).

### 1.1.7.2 Cor

A cor na superfície de um alimento é geralmente o primeiro parâmetro de qualidade avaliado pelos consumidores (PEDRESCHI et al., 2006), além de ser um dos atributos que caracteriza a aparência do produto e contribui para a escolha de compra (MEILGAARD et al., 2007). Os consumidores tendem a associar cor com odor, sabor, segurança, tempo de estocagem, nutrição e nível de satisfação, o que se correlaciona com avaliação física, química e sensorial de qualidade dos alimentos (PEDRESCHI et al., 2006).

A formação da cor nos produtos de panificação durante o assamento é denominada de escurecimento, resultado de reações químicas não enzimáticas (reação de Maillard e reação de caramelização) que produzem compostos com cor (DAMODARAN et al., 2010).

As reações de escurecimento dos produtos dependem da temperatura e da atividade de água. Durante o processo de assamento de um pão, simultaneamente ao aquecimento e à transferência de massa, dentro do alimento, acontecem mudanças físicas, químicas e bioquímicas, que estão relacionadas tanto aos aspectos sensoriais (cor, sabor, odor), quanto nutricionais (PURLIS, 2010). Dentre essas mudanças destacam-se: alteração do volume, evaporação da água, estruturação do miolo a partir da desnaturação proteica e da gelatinização do amido e formação da crosta (MONDAL; DATTA, 2008).

Em pães, uma mudança física é o início do aparecimento da coloração escura, durante o assamento, detectado a partir do decréscimo da atividade de água abaixo de 0,6 e do aumento da temperatura a partir de 120 °C (PURLIS, 2010).

Com relação aos aspectos nutricionais, por exemplo, a reação de Maillard forma produtos tanto com ações biológicas positivas, quanto com propriedades antinutricionais. Há formação de produtos com propriedades antioxidantes (MARTINS et al., 2001; MORALES et al., 2009), e também aqueles que prejudicam o conteúdo e a

biodisponibilidade de aminoácidos e proteínas (MORALES et al., 2007), além da formação de compostos prejudiciais, como acrilamida e hidroximetilfurfural (MORALES et al., 2009).

A reação de Maillard caracteriza-se por um conjunto complexo de reações entre um açúcar redutor, principalmente a D-glicose, e um grupo amina primário (um aminoácido livre ou grupo aminoacídico da cadeia lateral de uma molécula de proteína), os quais, em alta temperatura, decompõem-se e, finalmente, condensam-se (DAMODARAN et al., 2010). Em seguida, sofrem um processo de rearranjo e formam os compostos de Amadori (MARTINS et al., 2001), os primeiros intermediários da sequência de reações de escurecimento (DAMODARAN et al., 2010). A reação de Maillard acontece efetivamente a temperaturas maiores que 50 °C, sendo favorecida em pH de 4,0 a 7,0, isto é, na faixa de pH da maioria dos alimentos (KROH, 1994). A subsequente degradação dos compostos de Amadori é dependente do pH do sistema (PURLIS, 2010). A rota do escurecimento de pães dá-se comumente a pH < 7,0. Nessa condição, os compostos de Amadori, via enolização, formam furfural ou hidroximetilfurfural, compostos altamente reativos que participam de mais reações (condensação e polimerização). Esse processo conduz à formação de melanoidinas e outros polímeros marrons, além de substâncias aromáticas (MARTINS et al., 2001). A reação tem outra rota quando pH > 7,0: envolve desidratação e fragmentação de açúcar, degradação de aminoácido (degradação de Strecker) e, finalmente, polimerização e formação de melanoidinas. Produtos intermediários gerados nesse processo incluem redutonas, aldeídos, aldóis, polímeros com nitrogênio livre e aldiminas (HODGE, 1953, apud PURLIS, 2010; DAMODARAN et al., 2010). O aumento ou diminuição da reação de escurecimento de Maillard pode ocorrer a partir do controle de variáveis como: (1) temperatura (a redução desta diminui a velocidade da reação) e tempo em determinada temperatura; (2) pH (diminuindo-se este, diminui a velocidade da reação); (3) conteúdo de água (a velocidade máxima da reação ocorre com atividades de água entre 0,6 e 0,7, cerca de 30 % de umidade); (4) açúcar específico; (5) presença de íons de metais de transição que, sob condições favoráveis, sofrem oxidação de um elétron (DAMODARAN et al., 2010).

A reação de caramelização caracteriza-se como um complexo grupo de reações que ocorrem aquecendo fortemente (temperatura > 120 °C) carboidratos, em particular a sacarose e açúcares redutores, na ausência de compostos nitrogenados (DAMODARAN et al., 2010). A

reação de caramelização pode ocorrer também com  $9 < \text{pH} < 3$  (KROH, 1994). A reação de caramelização é descrita como uma sequência de reações que degradam o açúcar (enolização, desidratação, clivagem, aldolização), destacando-se compostos intermediários denominados  $\alpha$ -dicarbonílicos, os quais propiciam a formação de produtos com ligações duplas ou anéis insaturados, tais como derivados de furanos (hidroximetilfurfural) e polímeros (KROH, 1994). A caramelização é constatada visivelmente a partir da formação de um produto marrom, comumente denominado caramelo (KROH, 1994), produzido comercialmente para uso como corante ou como aromatizante (DAMODARAN et al., 2010).

Durante o processo de assamento de um pão, o amido e a sacarose podem ser hidrolisados, levando a açúcares redutores, que podem participar de ambas reações de escurecimento, a reação de Maillard e a caramelização (CAPUANO et al., 2008).

### 1.1.7.3 Textura

Os atributos de qualidade de textura dos alimentos podem ser avaliados por análise sensorial (subjetiva) ou instrumental (objetiva) (CHEN; OPARA, 2013).

Segundo Szczesniak (2002), “a textura é uma propriedade sensorial”, assim, os instrumentos para medição de textura são utilizados para realizar teste mecânico que possa substituir painéis sensoriais, como ferramentas de avaliação de textura (LAWLESS; HEYMANN, 2010).

Medições de textura por penetração e compressão, utilizando o texturômetro, ainda são amplamente utilizadas, apesar de a evolução tecnológica disponibilizar instrumentos não invasivos aos alimentos para analisar textura, como espectroscopia de infravermelho e imagem espectral (CHEN; OPARA, 2013).

Para pães, atributos de textura definem a qualidade, a partir da firmeza do miolo (VLIET; PRIMO-MARTÍN, 2011).

#### 1.1.7.3.1 Perfil de textura instrumental

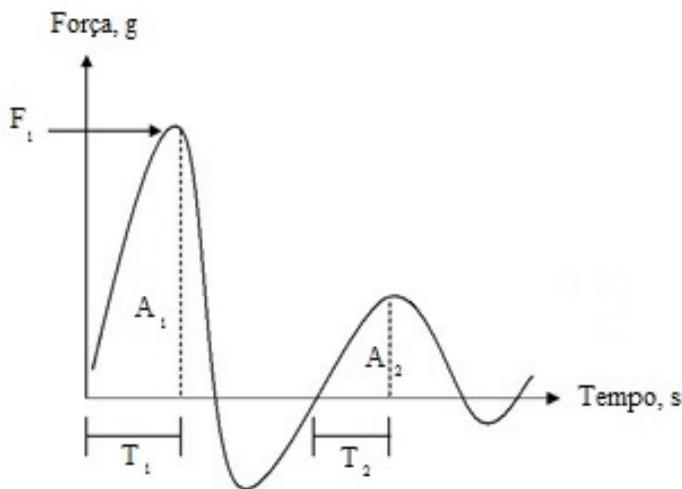
O método de análise de textura, para perfil de textura instrumental, utilizando texturômetro consiste em aplicar, na mesma amostra, duas sucessivas compressões que podem causar alterações irreversíveis no alimento que está sendo testado (AACC, 2000). O perfil de textura instrumental está baseado na imitação do processo de

mastigação (CHEN; OPARA, 2013).

Dentre os principais parâmetros considerados na análise de perfil de textura estão: firmeza (ou dureza), que é a força necessária para obter uma dada deformação; elasticidade, que é a taxa na qual um material deformado é capaz de retornar à sua condição não deformada após a remoção da força de deformação; coesividade, caracterizada pela medida em que um material pode ser deformado antes de romper; mastigabilidade, energia requerida para triturar um alimento sólido até um estado pronto para ser engolido (SZCZESNIAK, 2002).

Os parâmetros mecânicos quantificados na análise de perfil de textura (TPA – *Texture Profile Analysis*) são indicados em curvas de força *versus* deformação. Uma curva típica de análise de perfil de textura pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 - Curva típica para análise de perfil de textura.



Firmeza =  $F_1$ ; elasticidade =  $T_2/T_1$ ; coesividade =  $A_2/A_1$ ; mastigabilidade = firmeza x elasticidade x coesividade.

Fonte: Adaptada de Chong e colaboradores (2008).

Após a aplicação do ciclo com duas sucessivas compressões realizadas pelo texturômetro extraem-se, da curva, os valores dos parâmetros: firmeza =  $F_1$  (carga máxima do primeiro ciclo de

compressão); elasticidade =  $T2/T1$  (tempo decorrido para formar a área 1 acima do eixo y positivo); coesividade =  $A2/A1$  (área abaixo da curva formada no segundo ciclo de compressão / área abaixo da curva formada no primeiro ciclo de compressão); mastigabilidade = firmeza x elasticidade x coesividade (CHONG et al., 2008).

#### 1.1.7.3.2 Perfil de textura sensorial

A textura é a manifestação sensorial da estrutura dos alimentos, percebida através da pele e dos músculos (CIVILLE; SZCZESNIAK, 1973). Segundo Brandt e colaboradores (1963), perfil de textura é “a análise sensorial da textura de um alimento, em termos das características mecânica, geométrica, de gordura e de umidade, o grau com que cada característica está presente e a ordem que elas aparecem a partir da primeira mordida até a completa mastigação”.

As características mecânicas são definidas por parâmetros primários e secundários. Os parâmetros primários são: dureza (firmeza), coesividade, viscosidade, elasticidade e adesividade. Os parâmetros secundários são: fraturabilidade, mastigabilidade e gomosidade (SZCZESNIAK, 1963). Parâmetros muito semelhantes aos registrados pelo texturômetro, na tentativa de simular o comportamento humano.

As características geométricas são definidas pelo arranjo dos constituintes físicos de um alimento, como tamanho, forma, presença de fibras, partículas macias ou duras (SZCZESNIAK, 1963), classificando assim um alimento como fibroso, cristalino, granuloso. As demais características estão relacionadas com o conteúdo de gordura e umidade do alimento (SZCZESNIAK, 1963), classificando-o como oleoso, suculento.

O escopo do método de perfil de textura é amplo. É ele que permite a análise descritiva quantitativa de diversos parâmetros de textura, para variados produtos (CIVILLE; SZCZESNIAK, 1973). O pão é um deles, já que a análise descritiva pode ser utilizada para avaliar a influência dos ingredientes ou condições de processamento na qualidade desse tipo de alimento (ANNETT et al., 2007).

Propriedades sensoriais são utilizados por avaliadores treinados para descrever a qualidade de pães. Esses atributos podem ser agrupados em quatro grupos: aparência, odor, sabor e textura (KIHLEBERG et al., 2004). Há destaque para textura oral-táctil, que engloba todas as sensações de textura suscitadas na boca, através dos lábios, dentes, mucosa oral, saliva, língua e garganta (LAWLESS; HEYMANN, 2010).

Dentre os produtos de panificação levedados, a textura do miolo do pão está fortemente relacionada à percepção de qualidade. Este parece ser um critério de decisão de aceitabilidade do consumidor (GÁMBARO et al., 2002), já que a percepção do miolo do pão na boca é influenciada por uma série de itens. Dentre eles estão o tamanho e a estrutura das células do miolo: espessura da parede, uniformidade e tamanho celular (LASSOUED et al., 2008).

Estudos mostram forte correlação entre análise sensorial e instrumental (GÁMBARO et al., 2002; LASSOUED et al., 2008), identificando diferenças entre a uniformidade e o tamanho dos poros nos miolos dos pães, a partir de parâmetros como, firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade.

Segundo Civille e Szczesniak (1973), as definições sensoriais para esses parâmetros são: firmeza (força requerida para compressão de uma substância entre os dentes molares, para sólidos, ou entre a língua e o palato, para semi sólidos), elasticidade (grau com que o produto volta à sua forma original, depois de ser comprimido entre os dentes), coesividade (grau com o qual uma substância é comprimida entre os dentes antes de romper) e mastigabilidade (tempo em segundos, requerido para mastigar uma amostra, a uma velocidade constante de aplicação de força, para reduzi-la à consistência adequada para deglutição).

#### **1.1.7.4 Imagem**

A aparência visual e a estrutura dos alimentos são caracterizadas pela análise de imagem; isso ocorre com os pães (GALLAGHER et al., 2003; BRESCIA et al., 2007; DOUST et al., 2009; LAMBERT-MERETEI et al., 2010; PÉREZ-NIETO et al., 2010). Esta é uma ferramenta quantitativa de avaliação do miolo (RIBOTTA et al., 2010; HRUSKOVA et al., 2012), baseada na granulometria de textura (quão fina e homogênea é a distribuição das células) (LASSOUED et al., 2008).

A análise de imagem pode definir textura em função da variação na distribuição espacial em intensidade de pixels (níveis de cinza), e que, basicamente, refere-se às propriedades espaciais da estrutura superficial da amostra em estudo (PRATS-MONTALBÁN et al., 2011).

Quando um pão é fatiado, a estrutura do miolo aparece. Essa estrutura superficial, que se torna visível, consiste em vários poros interconectados, de diferentes tamanhos, numa matriz contínua (HAYMAN et al., 1998).

Os parâmetros calculados na análise de imagem podem ser:

número de células (objetos ou poros); área média das células ( $\text{mm}^2$ ); densidade celular ( $\text{n}^\circ$  células/ $\text{mm}^2$ ) e circularidade, (POURFARZD et al., 2012).

## REFERÊNCIAS

A.E. STALEY MANUFACTURING COMPANY. Donald W. Harris; Jeanette A. Little. **Fragmented, debranched amylopectin starch precipitate as fat replacer**. Int. Cl.<sup>5</sup>: A23L 1/09, C08D 30/20. EP 0 529 894 A1. 14 aug. 1992, 03 mar. 1993. European Patent Application, Paris.

A.E. STALEY MANUFACTURING COMPANY. Donald W. Harris; Jeanette A. Little. **Fragmented, debranched amylopectin starch precipitate as fat replacer**. Int. Cl.<sup>5</sup>: A23L 1/09, C08D 30/20. WO 93/03630. 07 aug. 1992, 04 mar. 1993. International application published under the patent cooperation treaty (PCT).

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of Analysis**, 10<sup>th</sup>, Ed. Approved November 8, 2000. AACC International, St Paul, MN, U.S.A.

ABIMA. Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias, Pão e Bolo Industrializado. **Estatística - mercado nacional de pães**. Disponível em <<http://www.abima.com.br/estMercNacPaes.asp>> Acessado em 05 de março de 2013.

AIT KADDOUR, A.; BARRON, C.; ROBERT, P.; CUQ, B. Physico-chemical description of bread dough mixing using two-dimensional near-infrared correlation spectroscopy and moving-window two dimensional correlation spectroscopy. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 1, p. 10-19, 2008.

ALEXANDER, R. J. Fat replacers based on starch. **Cereal Foods World**, v. 40, n. 5, p. 366-368, 1995.

ALMEIDA, E. L.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 545-553, 2013.

ALTING, A. C.; VAN DE VELDE, F.; KANNING, M. W.; BURGERING, M.; MULLENERS, L.; SEIN, A.; BUWALDA, P. Improved creaminess of low-fat yoghurt: the impact of amyloamylase-treated starch domains. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 980-987, 2009.

AMEMIYA, J. I.; MENJIVAR, J. A. Comparison of small and large deformation measurements to characterize the rheology of wheat flour doughs. **Journal of Food Engineering**, v. 16, n. 1-2, p. 91-108, 1992.

ANDERSON, A.; EASTWOOD, M. A. Flow characteristics and the water retention properties of wheat bran. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 39, p. 185-194, 1987.

ANNET, L. E.; SPANER, D.; WISMER, W. V. Sensory profiles of bread made from paired samples of organic and conventionally grown wheat grain. **Sensory and Nutritive Qualities of Food**, v. 72, p. S254–S260, 2007.

ANSON, N. M.; BERG, R. V. D.; HAVENAAR, R.; BAST, A.; HAENEN, G. R. M. M. Ferulic acid from aleurone determines the antioxidant potency of heat grain (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 5589–5594, 2008.

ATWELL, W. A. **Wheat flour**. Eagen Press Handbook Series. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, 2001. 134 p.

BARRERA, G. N.; BUSTOS, M. C.; ITURRIAGA, L.; FLORES, S. K.; LÉON, A. E.; RIBOTTA, P. D. Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions. **Journal of Food Engineering**, v. 116, p. 233-239, 2013.

BARROS, F.; ALVIOLA, J. N.; ROONEY, L. W. Comparison of quality of refined and whole wheat tortillas. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 50-56, 2010.

BECHTEL, D. B.; POMERANZ, Y.; DE FRANCISCO, A. Breadmaking studies by light and transmission electron microscopy. **Cereal Chemistry**, v. 55, n. 3, p. 392-401, 1977.

BELTON, P. S. New approaches to study the molecular basis of the mechanical properties of gluten. **Journal of Cereal Science**, v. 41, p. 203-211, 2005.

BELTON, P. S.; COLQUHOUN, I. J.; GRANT, A.; WELLNER, N.; FIELD, J. M.; SHEWRY, P. R.; TATHAM, A. S. FTIR and NMR studies

on the hydration of a high- $M_r$  subunit of glutenin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 17, n. 2, p. 74-80, 1995.

BEMILLER, J. N. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/Stärke**, v. 49, n. 4, p. 127-131, 1997.

BERTON, B.; SCHER, J.; VILLIERAS, F.; HARDY, J. Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics. **Powder Technology**, v. 128, p. 326–331, 2002.

BILIADERIS, C. G. Structures and phase transitions of starch in food systems. **Food Technology**, v. 145, p. 98–109, 1992.

BIRCH, A. N.; PETERSEN, M. A.; ARNEBORG, N.; HANSEN, A. S. Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles. **Food Research International**, v. 521, p. 160-166, 2013.

BLAZEK, J.; GILBERT, E. P. Effect of enzymatic hydrolysis on native starch granule structure. **Biomacromolecules**, v. 11, p. 3275-3289, 2010.

BOCK, J. E.; DAMODARAN, S. Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by Fourier transform infrared spectroscopy. **Foods Hydrocolloids**, v. 31, p. 146-155, 2013.

BRANDT, M. A.; SKINNER, E. Z.; COLEMAN, J. A. Texture profile method. **Journal of Food Science**, v. 28, p. 404-409, 1963.

BRANLARD, G.; DARDEVET, M.; SACCOMANO, R.; LAOUTTE, F.; GOURDON, J. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread what quality. **Euphytica**, v. 119, p. 59-67, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de vigilância Sanitária – ANVISA. **Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº38 de 30 de novembro de 2010. **Regulamento Técnico do Trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº8 de 02 de junho de 2005. **Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade da Farinha de Trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 jun. 2005a. Seção 1, n. 105, p. 91.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação Geral da Política de Alimentação e Nutrição. **Guia Alimentar para População Brasileira. Série A. Normas e Manuais Técnicos**. Brasília, 2005b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria da Vigilância Sanitária. Portaria nº540 de 27 de outubro de 1997. **Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares – definições, classificação e emprego**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1997.

BRESCIA, M.; SACCO, D.; SGARAMELLA, A.; PASQUALONE, A.; SIMEONE, R.; PERI, G. Characterisation of different typical Italian breads by means of traditional, spectroscopic and image analyses. **Food Chemistry**, v. 104, p. 429-438, 2007.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and bio synthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, p. 85-112, 1998.

BUSHUK, W. Wheat around the world. In: **Grains and oil seeds: handling, marketing, processing**. Winnipeg: Canadian International Grains Institute, 1975. p. 357-417.

BUSKEN, D. F. Quality of a baked good - what makes it good? **Cereal Foods World**, v. 57, n. 2, p. 89-90, 2012.

CAMPBELL, G. M. Bread aeration. In: CAUVAIN, S. P. **Breadmaking: improving quality**. Cambridge: Woodhead, 2003. p. 352-374.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para fins especiais: dietéticos**. São Paulo: Varela, 1996, p. 259-330.

CAPUANO, E.; FERRIGNO, A.; ACAMPA, I.; AIT-AMEUR, L.; FOGLIANO, V. Characterization of the Maillard reaction in bread crisps. **European Food Research and Technology**, v. 228, p. 311-319, 2008.

CARLSON, M. Regulation of sugar utilization in *Saccharomyces* species. **Journal of Bacteriology**, v. 169, n. 11, p. 4873-4877, 1987.

CAUVAIN, S. P. **Breadmaking – improving quality**. England: Woodhead Publishing Limited, 2012. 802 p.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnologia da panificação**. Barueri, São Paulo: Manole, 2009. 440 p.

CCC. Calorie Control Council. **Fat replacers**. Disponível em <<http://www.caloriecontrol.org/sweeteners-and-lite/fat-replacers>> Acessado em 26 de dezembro de 2015.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. Amidos Modificados. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. **Tecnologia, usos e potencialidades tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3. p. 246-333.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods – a review. **Food Research International**, v. 51, p. 823–835, 2013.

CHIEH, C. Water. In: HUI Y. H. **Bakery products: science and technology**. Blackwell Publishing, 2006. p. 211-232.

CHIN, N. L.; RAHMAN, R. A.; HASHIM, D. M.; KOWNG, S. Y. Palm oil shortening effects on baking performance of white bread. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, p. 413-433, 2010.

CHO, S. S.; PROSKY, L. Application of complex carbohydrates to food product fat mimetics. In: CHO, S. S.; PROSKY, L.; DREHER, M. **Complex carbohydrates in foods**. New York, 1999. p. 411-591.

CHOE, J.; KIM, H.; LEE, J.; KIM, Y.; KIM, C. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat

replacers. **Meat Science**, v. 93, p. 849-854, 2013.

CHONG C. H.; LAW, C. L.; CLOKE, M.; HII, C. L.; ABDULLAH, L. C.; DAUD, W. R. W. Drying kinetics and product quality of dried Chempedak. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 522-527, 2008.

CHUNG, C.; DEGNER, B.; McCLEMENTS, D. J. Development of reduced-calorie foods: microparticulated whey proteins as fat mimetics in semi-solid food emulsions. **Food Research International**, v. 56, p. 136-145, 2014.

CIVILLE, G. V.; SZCZESNIAK, A. S. Guidelines to training a texture profile panel. **Journal of Texture Studies**, v. 4, p. 204-223, 1973.

COLLAR, C.; SANTOS, E.; ROSELL, C. M. Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 820-826, 2007.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – safra 2014/2015**. Quarto Levantamento. Brasília: DF, jan/2015.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 1527-1534, 2009.

CORREA, M. J.; FERRER, E.; AÑÓN, M. C.; FERRERO, C. Interaction of modified celluloses and pectins with gluten proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 91-99, 2014.

CRIZEL, T. M.; JABLONSKI, A.; RIOS, A. O.; RECH, R.; FLÔRES, S. H. Dietary fiber from orange by products as a potencial fat replacer. **LWT – Food Science and Technology**, v. 53, p. 9-14, 2013.

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.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**, Quarta Ed., Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DEWETTINCK, K.; BOCJSTAELE, F. V.; KÜHNE, B.; VAN DE WALLE, V.; COURTENS, T. M.; GELLYNCK, X. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 243-257, 2008.

DOBLADO-MALDONADO, A. F.; PIKE, O. A.; SWELEY, J. C.; ROSE, D. J. Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. **Journal of Cereal Science**, v. 56, p. 119-126, 2012.

DOUST, M. A.; RIZZO, B.; TRIOLO, O.; PECORINO, B.; LENORA, G. Sourdough effects on the crumb texture and shelf-life evaluated with dynamometer and image analysis measurements in the Dittaino Pagnotta P.D.O., a durum wheat bread produced by a Sicilian bakery industry. In: **Section VI International Symposium on Food processing, monitoring technology in bioprocesses and food quality management**. Alemanha: Potsdam, 31 Agosto - 02 Setembro 2009.

DURA, A.; BLASZCZAK, W.; ROSELL, C. M. Functionality of porous starch obtained by amylase or amyloglucosidase treatments. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 837-845, 2014.

DZIEZAK, J. D. Fats, oils and fat substitutes. **Food Technology**, v. 43, n. 7, p. 66-74, 1989.

EDWARDS, S. G. Influence of agricultural practices on fusarium infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. **Toxicology Letters**, v. 153, n. 1, p. 29-35, 2004.

EL-DASH, A. A.; CARMARGO, C. O.; DIAZ, N. M. **Fundamentos da tecnologia da panificação**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo – Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia – Coordenadoria da Indústria e do Comércio, 1984.

ELLEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O.; BESBES, S.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. **Food Chemistry**, v. 124, p. 411-421, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo de trigo**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/trigo/cultivos>> Acessado em 24 de agosto de 2015.

ENGLYST, K. N.; ENGLYST, H. N. Carbohydrate bioavailability. **British Journal of Nutrition**, v. 94, n. 1, p. 1-11, 2005.

ENGLYST, H. N.; HUDSON, G. J. The classification and measurement of dietary carbohydrates. **Food Chemistry**, v. 57, n. 1, p. 15-21, 1996.

ESTELLER, M. S. **Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento**. 2004. 248 p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

EUROPEAN COMMISSION. Regulation (EC) N° 1924/2006 of the european parliament and of the council of 20 december 2006 on nutrition and health claims made on foods. **Official Journal of the European Union**. L 404/9 e L 404/24.

FAERGEMAND, M.; KROG, N. Using emulsifiers to improve food texture. In: McKENNA, B. M. **Texture in foods: semi-solid foods**. Boca Raton - Florida: CRC Press, 2003. v. 1.

FALCÃO-RODRIGUES, M. M.; MOLDÃO-MARTINS, M.; BEIRÃO-DA-COSTA, M. L. Thermal properties of gluten proteins of two soft wheat varieties. **Food Chemistry**, v. 93, p. 459-465, 2005.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Resources**, 2015. Disponível em <<http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/240943/>> Acessado em 24 de agosto de 2015.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Physiological effects of a dietary fibre**, 1998. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/w8079E/w8079e01.htm>> Acessado em 05 de março de 2014.

FARDET, A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre. **Nutrition Research Reviews**, v. 23, p. 65-134, 2010.

FARIDI, H. Application of rheology in the cookie and cracker industry. In: FARIDI, H.; FARUBION, J. M. **Dough rheology and baked product texture**. New York, 1990. p. 363-384.

FDA. Food and Drug Administration. **Nutrition labeling and education requirements**, 2010. Disponível em <<http://www.fda.gov/ICECI/Inspections/InspectionGuides/ucm114092.htm>> Acessado em 10 de abril de 2013.

FINNIE, S. M.; JEANNOTTE, R.; FAUBION, J. M. Quantitative characterization of polar lipids from wheat whole meal, flour, and starch. **Cereal Chemistry**, v. 86, n. 6, p. 637-645, 2009.

FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v. 38, p. 191-218, 2002.

FORESTI, M. L.; WILLIAMS, M. P.; MARTÍNEZ-GARCÍA, R.; VÁZQUEZ, A. Analysis of a preferential action of  $\alpha$ -amylase from *B. licheniformis* towards amorphous regions of waxy maize starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 102, p. 80-87, 2014.

FOSCHIA, M.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A.; BRENNAN, C. S. The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. **Journal of Cereal Science**, v. 58, p. 216-227, 2013.

FRIEND, C. P.; SERNA-SALDIVAR, S. O.; WNISKA, R. D.; ROONEY, L. W. Increasing the fiber content of wheat tortillas. **Cereal Foods World**, v. 37, n. 4, p. 325-328, 1992.

FULCHER, G. **Functional Ingredients in Whole Grains**. Minnesota: University of Minnesota, 2003. 200 slides, color.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 153-161, 2003.

GÁMBARO, A.; VARELA, P.; GIMÉNEZ, A. Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. **Journal of Texture Studies**, v. 33, p. 401-413, 2002.

GAN, Z.; ELLIS, P. R.; SCHOFIELD, J. D. Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough. **Journal of Cereal Science**, v. 21, p. 215-230, 1995.

GARTI, N. What can nature offer from an emulsifier point of view: trends and progress? **Colloids and Surfaces. Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 152, p. 125-146, 1999.

GHOTRA, B. S.; DYAL, S. D.; NARINE, S. S. Lipid shortenings: a review. **Food Research International**, v. 35, p. 1015-1048, 2002.

GLUECK, C. J.; STREICHER, P. A.; ILLIG, E. K.; WEBER, K. D. Dietary fat substitutes. **Nutrition Research**, v. 14, n. 10, p. 1605-1619, 1994.

GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C. M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 1, p. 12-30, 2005.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; NETO, S. A. R. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007.

GREFFEUILLE, V.; ABECASSIS, J.; HELGOUACH, C. B. L. V.; LULLIEN-PELLERIN, V. Differences in the aleurone layer fate between hard and soft common wheats at grain milling. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 2, p. 138-143, 2005.

HADDAD, Y.; BENET, J. C.; DELENNE, J. Y.; MERMET, A.; ABECASSIS, J. Rheological behaviour of wheat endosperm - proposal for classification based on the rheological characteristics of endosperm test samples. **Journal of Cereal Science**, v. 34, n. 1, p. 105-113, 2001.

HARGIN, K. D.; MORRISON, W. R. The distribution of acyl lipids in the germ, aleurone, starch and non-starch endosperm of four wheat

varieties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 31, n. 9, p. 877-888, 1980.

HAYMAN, D. A.; HOSENEY, R. C.; FAUBION, J. M. Effect of pressure (crust formation) on bread crumb grain development. **Cereal Chemistry**, v. 75, p. 577-580, 1998.

HEIDOLPH, B. B.; RAY, D. K.; ROLLER, S.; KOEHLER, P.; WEBER, J.; SLOCUM, S.; NOORT, M. W. J. Looking for my shaker of salt...replacer: flavor, function, future. **Cereal Foods World**, v. 56, n. 1, p. 5-18, 2011.

HEMERY, Y. M.; MABILLE, F.; MARTELLI, M. R.; ROUAU, X. Influence of water content and negative temperatures on the mechanical properties of wheat bran and its constitutive layers. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 360-369, 2010.

HENRY, R. J. A comparison of the non-starch carbohydrates in cereal grains. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 36, p. 1243-1253, 1985.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starch: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, p. 251-207, 2001.

HOSENEY, R. C. **Principios de ciencia y tecnología de los cereales**. Zaragoza: Acribia, 1991. 321 p.

HRUSKOVA, M.; SVEC, I.; HOFMANOVA, T.; DVORAKOVA, J. Image analysis – comparison of recipe composition effect. **Procedia Engineering**, v. 42, p. 955-963, 2012.

IGC. **International Grains Council**, 2015. Disponível em <<http://www.igc.int/en/grainsupdate/sd.aspx?crop=Wheat>> Acessado em 24 de agosto de 2015.

IMMEL, S.; LICHTENTHALER, F. W. The hydrophobic topographies of amylose and its blue iodine complex. **Starch**, v. 52, n. 1, p. 1-8, 2000.

INNOGEL AG. Rolf Mueller; Federico Innerebner. **Food stuff based**

**on starch gel.** Int. Cl.<sup>5</sup>: WO 2004/032639 A1. 13 sep. 2002, 22 aprl 2004. International application published under the patent cooperation treaty (PCT).

IOM. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. **Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids**, 2002. Disponível em <<http://www.iom.edu/Reports/2002/Dietary-Reference-Intakes-for-Energy-Carbohydrate-Fiber-Fat-Fatty-Acids-Cholesterol-Protein-and-Amino-Acids.aspx>> Acessado em 05 de março de 2014.

JACOBS, D. R. Jr.; MEYER, K. A.; KUSHI, L. H.; FOLSOM, A. R. Whole-grain intake may reduce the risk of ischemic heart disease death in postmenopausal women: the Iowa women's health study. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, p. 248-257, 1998.

JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; McPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.

JAYARAM, V. B.; CUYVERS, S.; LAGRAIN, B.; VERSTREPEN, K. J.; DELCOUR, J. A.; COURTIN, C. M. Mapping of *Saccharomyces cerevisiae* metabolites in fermenting wheat straight-dough reveals succinic acid as pH-determining factor. **Food Chemistry**, v. 136, p. 301-308, 2013.

JIANG, Y. Z.; WANG, T. Phytosterols in cereal by-products. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 82, p. 439-444, 2005.

KAHLON, T. S.; CHOW, F. I.; HOEFER, L.; BETSCHAT, A. A. Bioavailability of vitamins A and E as influenced by wheat bran and bran particle size. **Cereal Chemistry**, v. 63, n. 6, p. 490-493, 1986.

KARUNAKARAN, C.; MUIR, M. E.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G.; ABRAMSON, D. Safe storage time of high moisture wheat. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, p. 303-312, 2001.

KAUR, B.; ARIFFIN, F.; BHA.; KARIM, A. A. Progress in starch

modification in the last decade. **Food Hydrocolloids**, v. 26, p. 398-440, 2012.

KHATOON, S.; SREERAMA, Y. N.; RAGHAVENDRA, D.; BHATTACHARYA, S.; BHAT, K. K. Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starches. **Food Research International**, v. 42, p. 1426-1433, 2009.

KIHLBERG, I.; JOHANSSON, L.; KOHLER, A.; RISVIK, E. Sensory qualities of whole wheat pan bread – influence of farming system, milling and baking technique. **Journal of Cereal Science**, v. 43, p. 15-30, 2004.

KIM, J.; PARK, D.; LIM, S. Fragmentation of waxy rice starch granules by enzymatic hydrolysis. **Cereal Chemistry**, v. 85, n. 2, p. 182-187, 2008.

KROH, L. W. Caramelisation in food and beverages. **Food Chemistry**, v. 51, p. 373-379, 1994.

KTENIOUDAKI, A.; GALLAGHER, E. Recent advances in the development of high-fibre baked products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 28, p. 4-14, 2012.

KULP, K.; PONTE, J. G. Staling of white pan bread: fundamental causes. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 15, p. 1-48, 1981.

LAFIANDRA, D.; RICCARDI, G.; SHEWRY, P. R. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. **Journal of Cereal Science**, v. 59, n. 3, p. 312-326, 2014.

LAI, H. M.; LIN, T. C. Bakery products: science and technology. In: HUI Y. H. **Bakery products: science and technology**. Blackwell Publishing, 2006. p. 3-68.

LAMBERT-MERETEI, A.; SZENDREI E.; NOGULA-NAGY, M.; FEKETE A. Methods to evaluate the effects of bread improver additive on bread crumb texture properties. **Acta Alimentaria**, v. 39, p. 180-191, 2010.

LASSOUED, N.; DELARUE, J.; LAUNAY, B.; MICHON, C. Baked product texture: correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 133-143, 2008.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food – principles and practices**. USA: Springer, 2010. 596 p.

LE CORRE, D.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Starch nanoparticles: a review. **Biomacromolecules**, v. 11, p. 1139-1153, 2010.

LÉON, A. E. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica**. Córdoba: Hugo Bález, 2007. 473 p.

LIM, S.; JANE, J.; RAJAGOPALAN, S.; SEID, P. A. Effect of starch granule size on physical properties of starch filled polyethylene. **Biotechnology Progress**, v. 8, n. 1, p. 51-57, 1992.

LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 207-219, 2007.

LIU, H.; XIONG, Y. L.; JIANG, L.; KONG, B. Whole fat reduction in emulsion sausage using an enzyme-modified potato starch. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, p. 1632-1637, 2008.

LLOYD, B.J.; SIEBENMORGEN, T.J., Beers, K.W. Effect of commercial processing on antioxidants in rice bran. **Cereal Chemistry**, v. 77, p. 551–555, 2000.

LUCCA, P. A.; TEPPER, B. J. Fat replacers and the functionality of fat in foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, p. 12-19, 2005.  
LV, J.; YU, L.; LU, Y.; NIU, Y.; LIU, L.; COSTA, J.; YU, L. L. Phytochemical compositions, and antioxidant properties, and antiproliferative activities of wheat flour. **Food Chemistry**, v. 135, p. 325-331, 2012.

LYNCH, E. J.; DAL BELLO, F.; SHEEHAN, E. M.; CASHMAN, K. D.; ARENDT, E. K. Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics. **Food Research International**, v. 42, p. 885-891, 2009.

LYONS, G.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; STANGOULIS, J.; GRAHAM, R. Selenium concentration in wheat grain: is there sufficient genotypic variation to use in breeding? **Plant and Soil**, v. 269, p. 369-380, 2005.

MA, Y.; CAI, C.; WANG, J.; SUN, D. Enzymatic hydrolysis of corn starch for producing fat mimetics. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 297-303, 2006.

MacARTHUR, L. A.; D'APPLONIA, B. L. Comparison of oat and wheat carbohydrates. I. Sugars. **Cereal Chemistry**, v. 56, n. 5, p. 455-457, 1979.

MAES, C.; DELCOUR, J. A. Alkaline hydrogen peroxide extraction of wheat bran non-starch polysaccharides. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p. 29-35, 2001.

MANDALA, I.; POLAKI, A.; YANNIOTIS, S. Influence of frozen storage on bread enriched with different ingredients. **Journal of Food Engineering**, v. 92, p. 137-145, 2009.

MARIOTTI, M.; ALAMPRESE, C. About the use of different sweeteners in baked goods. Influence on the mechanical and rheological properties of the doughs. **LWT – Food Science and Technology**, v. 48, p. 9-15, 2012.

MARQUART, L.; JACOBS, D.; McINTOSH, G.; REICKS, M.; POUTANEN, K. **Whole grains and health**. Ames, IA, USA: Blackwell Publishers, 2007. 335 p.

MARQUART, L.; SLAVIN, J. L.; FULCHER, R. G. **Whole grain foods in health and disease**. St Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists Inc, 2002. 62 p.

MARTINS, S. I. F. S.; JONGEN, W. M. F.; VAN BOEKEL, M. A. J. S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, p. 364-373, 2001.

McCANN, T.; DAY, L. Effect of sodium chloride on gluten network

formation, dough microstructure and rheology in relation to breadmaking. **Journal of Cereal Science**, v. 57, p. 444-452, 2013.

MEILGAARD, M., C.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. United States: CRC Press, 2007. 448 p.

MELLADO, M. Z. **El trigo em Chile**. INIA nº 121. Instituto de investigaciones agropecuárias. Chillá, Chile, 2006. 684 p.

METZROTH, D. J. Shortenings: science and technology. In: **Bailey's industrial oil and fat products**. Sixth Edition, 2005. v. 4. p. 83-124.

MILLER, R. A.; HOSENEY, R. C. Role of salt in baking. **Cereal Foods World**, v. 53, p. 4-6, 2008.

MILLS, E. N. C.; WILDE, P. J.; SALT, L. J.; SKEGGS, P. Bubble formation and stabilization in bread dough. **Institution of Chemical Engineers**, v. 81, p. 189-193, 2003.

MÓDENES, A. P.; SILVA, A. M.; TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 508-512, 2009.

MONDAL, A.; DATTA, A. K. Bread baking – a review. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 465-474, jun/2008.

MONTENEGRO, F. M.; ORMENESE, R. C. S. C. **Avaliação da qualidade tecnológica da farinha de trigo**. Campinas: Cereal Chocotec ITAL, 2008. 62 p.

MORALES, F. J.; AÇAR, O. Ç. SERPEN, A.; ARRIBAS-LORENZO, G.; GÖKMEN, V. Degradation of free tryptophan in a cookie model system and its application in commercial samples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 6793-6797, 2007.

MORALES, F. J.; MARTIN, S.; AÇAR, O. Ç. ARRIBAS-LORENZO, G.; GÖKMEN, V. Antioxidant activity of cookies and its relationship with heat-processing contaminants: a risk/benefit approach. **European Food Research Technology**, v. 228, p. 345-354, 2009.

MORIYAMA, T.; IKEDA, H. Hydrolases acting on glycosidic bonds: chromatographic and electrophoretic separations. **Journal of Chromatography B**, v. 684, p. 201-216, 1996.

MORRISON, W. R.; HARGIN, K. D. Distribution of soft wheat kernel lipids into our milling fractions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, p. 579-587, 1981.

MOUSIA, Z.; EDHERLY, S.; PANDIELLA, S. S.; WEBB, C. Effect of wheat pearling on flour quality. **Food Research International**, v. 37, p. 449-459, 2004.

MUA, J. P.; JACKSON, D. S. Fine structure of corn amylose and amylopectin fractions with various molecular weights. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 3840-3847, 1997.

MUKERJEA, R.; ROBYT, J. F. Isolation, structure and characterization of the putative soluble amyloses from potato, wheat and rice starches. **Carbohydrate Research**, v. 345, p. 449-451, 2010.

NAEGA. The North American Export Grain Association. **Wheat flour testing book**. Wheat and flour testing methods: a guide to understanding wheat and flour quality: version 2 (2008). Disponível em <[www.wheatflourbook.org](http://www.wheatflourbook.org)> Acessado em 17 de outubro de 2008.

NAGULESWARAN, S.; VASANTHAN, T.; HOOVER, R.; BRESSLER, D. Amylolysis of amylopectin and amylose isolated from wheat, triticale, corn and barley starches. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 686-693, 2014.

NAGULESWARAN, S.; VASANTHAN, T.; HOOVER, R.; BRESSLER, D. The susceptibility of large and small granules of waxy, normal and high-amylose genotypes of barley and corn starches toward amylolysis at sub-gelatinization temperatures. **Food Research International**, v. 51, p. 771-782, 2013.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 912 p.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Rapid visco analyser. Application and**

**method.** Newport Scientific, Inc. 2006, Maryland. p. 1-6. Disponível em:

<[http://www.perten.com/Global/Brochures/RVA/RVA%20Method%20Brochure\\_20110131.pdf](http://www.perten.com/Global/Brochures/RVA/RVA%20Method%20Brochure_20110131.pdf)>. Acessado em 10 de dezembro de 2013.

NIP, W. K. Sweeteners. In: HUI Y. H. **Bakery products: science and technology.** Blackwell Publishing, 2006. p. 138-160.

NONAKA, H. H. Plant carbohydrate-derived products as fat replacers and calorie reducers. **Cereal Foods World**, v. 42, p. 377-378, 1997.

NOORT, M. W. J.; HAASTER, D. V.; HEMERY, Y.; SCHOLS, H. A.; HAMER, R. J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – evidence for fibre – protein interactions. **Journal of Cereal Science**, v. 52, p. 59-64, 2010.

NUESSLI, J.; PUTAUX, J. L.; BAIL, P. L.; BULÉON, A. Crystal structure of amylose complexes with small ligands. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 33, p. 227-234, 2003.

NUGENT, A. P. Health properties of resistant starch. **Nutrition Bulletin**, v. 30, p. 27-54, 2005.

OATES, C. G. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, p. 375-382, 1997.

O'BRIEN, R. D. Shortenings: types and formulations. In: **Bailey's industrial oil and fat products.** Sixth Edition, 2005. v. 4. p. 125-157.

OLKKU, J.; RHA, C. Gelatinisation of starch and wheat flour starch - a review. **Food Chemistry**, v. 3, p. 293-311, 1978.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Equipo intersectorial impulsa la reducción de grasas dañinas para la salud**, 2011. Disponível em <[http://www.paho.org/els/index.php?option=com\\_content&view=article&id=382](http://www.paho.org/els/index.php?option=com_content&view=article&id=382)> Acessado em 12 de setembro de 2013.

OPAS. Organização Pan americana da Saúde. **Expertos em nutrición piden que la industria de alimentos apoye “America libre de grasas**

trans”, 2007. Disponível em  
<[http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=259&lang=es](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=259&lang=es)> Acessado em 12 de setembro de 2013.

ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. 2013. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

PALLARÉS, M. G.; LEÓN, A. E.; ROSELL, C. M. Trigo. In: LEÓN, A. E.; ROSELL, C. M. **De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamerica**. Córdoba: Hugo Báez Editor, 2007. 480 p.

PAREYT, B.; FINNEI, S. M.; PUTSEYS, J. A.; DELCOUR, J. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. **Journal of Cereal Science**, v. 54, p. 266-279, 2011.

PEAT, S.; PIRT, S. J.; WHELAN, W.J. Enzymic synthesis and degradation of starch. Part XV.  $\beta$ -Amylose and the Constitution of Amylose. **Journal of the Chemical Society**, p. 705-713, 1952.

PEDERSON, B.; KNUDSEN, K. E. B.; EGGUM, B. O. Nutritive value of cereal products with emphasis on the effect of milling. **World Review of Nutrition and Dietetics**, v. 60, p. 1-5, 1989.

PEDRESCHI, F.; LEÓN, J.; MERY, D.; MOYANO, P. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. **Food Research International**, v. 39, n. 10, p. 1092-1098, 2006.

PEIGHAMBARDOUST, S.H.; FALLAH, E.; HAMER, R. J.; VAN DER GOOT, A. J. Aeration of bread dough influenced by different way of processing. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 89-95, 2010.

PENG, L.; ZHONGDONG, L.; KENNEDY, J. F. The study of starch nano-unit chains in the gelatinization process. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, p. 360-366, 2007.

PÉREZ-NIETO, A.; CHANONA-PÉREZ, J. J.; FARRERA-REBOLLO, R. R.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; ALAMILLA-BELTRÁN, L.;

CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G. Image analysis of structural changes in dough during baking. **LWT – Food Science and Technology**, v. 43, p. 535-543, 2010.

POLAKI, A.; XASAPIS, P.; FASSEAS, C.; YANNIOTIS, S.; MANDALA, I. Fiber and hydrocolloid content affect the microstructural and sensory characteristics of fresh and frozen stored bread. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 1, p. 1-7, 2010.

POPPER, L; SCHÄFER, W.; FREUND, W. **Future of flour: a compendium of flour improvement**. Kansas City: Agrimedia, 2006. 325 p.

POURFARZAD, A.; MOHEBBI, M.; MAZAHERI-TEHRANI, M. Interrelationship between image, dough and barbari bread characteristics; use of image analysis to predict rheology, quality and shelf life. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 1354-1360, 2012.

POUTANEN, K. Past and future of cereal grains as food for health. **Trends in Food Science and Technology**, v. 25, p. 58-62, 2012.

PRABHASANKAR, P.; RAO, P. H. Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour. **European and Food Research Technology**, v. 213, p. 465-469, 2001.

PRABHASANKAR, P.; SUDHA, M. L.; HARIDAS RAO, P. Quality characteristics of wheat flour milled streams. **Food Research International**, v. 33, p. 381-386, 2000.

PRATS-MONTALBÁNA, J. M.; DE JUAN, A.; FERRER, A. Multivariate image analysis: a review with applications. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 107, p. 1–23, 2011.

PROPAN. Programa de Desenvolvimento da Alimentação, Confeitaria e Panificação. **Indicadores - perfil da panificação**, 2013. Disponível em <[http://www.propan.com.br/noticia.php?id=1173#.UoK\\_uxyqTw0](http://www.propan.com.br/noticia.php?id=1173#.UoK_uxyqTw0)> Acessado em 11 novembro de 2013.

PRUSKA-KEDZIOR, A.; KEDZIOR, Z.; KLOCKIEWICZ-

KAMINSKA, E. Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. **European Food Research Technology**, v. 277, p. 199-207, 2008.

PURATOS N. V. Evelien Agache; Catherine Deledicque. **Fat replacer for bakery and patisserie applications**. Int. Cl.<sup>5</sup>: A21D 2/16, A21D 8/04, A23D 7/01. EP 1 982 597 A1. 20 apr. 2007, 22 oct. 2008. European Patent Application, Paris.

PURLIS, E. Browning development in bakery products – a review. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 239-249, 2010.

QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnología de La panificación**. Zaragoza: Acribia, 1991. 485 p.

RABE, E. Effect of processing on dietary fiber. In: **Complex carbohydrates in foods**. USA, 1999. p. 395-410.

RAGAE, S.; GUZAR, I.; DHULL, N.; SEETHARAMAN, K. Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 2147-2152, 2011.

RIBOTTA, P. D.; PÉREZ, G. T.; AÑÓN, M. C.; LEÓN, A. E. Optimization of additive combination for improved soy – wheat bread quality. **Food Bioprocess Technology**, v. 3, n. 3, p. 395-405, 2010.

ROSELL, C. M.; SANTOS, E. Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 273-281, 2010.

RUIBAL-MENDIETA, N. L.; ROZENBERG, R.; DELACROIX, D. L.; PETITJEAN, G.; DEKEYSER, A.; BACCELLI, C.; MARQUES, C.; DELZENNE, N. M.; MEURENS, M.; HABIB-JIWAN, J. L.; QUETIN-LECLERCQ, J. Spelt (*Triticum spelta* L.) and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) wholemeals have similar sterol profiles, as determined by quantitative liquid chromatography and mass spectrometry analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 4802-4807, 2004.

SAJEDI, M.; NASIRPOUR, A.; KERAMAT, J.; DESOBRY, S. Effect of modified whey protein concentrate on physical properties and stability of whipped cream. **Food Hydrocolloids**, v. 36, p. 92-101, 2014.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S. Specialty starches for snack foods. **Carbohydrate Polymers**, v. 59, p. 131-151, 2005.

SALT, L. J.; WILDE, P. J.; GEORGET, D.; WELLNER, N.; SKEGGS, P. K.; MILLS, E. N. C. Composition and surface properties of dough liquor. **Journal of Cereal Science**, v. 43, p. 284-292, 2006.

SALVADOR, A.; SANZ, T.; FISZMAN, S. M. Dynamic rheological characteristics of wheat flour – water doughs. Effect of adding NaCl, sucrose and yeast. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 780-786, 2006.

SAURA-CALIXTO, F. Dietary fiber as a carrier of dietary antioxidants: an essential physiological function. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 43-49, 2011.

SCANLON, M. G.; ZGHAL, M. C. Bread properties and crumb structure. **Food Research International**, v. 34, n. 10, p. 841-864, 2001.

SCHIRALDI, A.; PIAZZA, L.; RIVA, M. Bread staling: a calorimetric approach. **Cereal Chemistry**, v. 73, p. 32-39, 1996.

SCHMIDT, S. J. Water mobility in foods. In: BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FONTANA, A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water activity in foods: fundamentals and applications**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2008. 108 p.

SCHÜNEMANN, C.; TREU, G. **Technologie der backwarenherstellung – fachkundliches lehrbuch für bäcker**. Germany: GmbH and Co. KG, 1989. p. 24-25.

SELOMULYO, V. O.; ZHON, W. Frozen bread dough improvers. **Journal of Cereal Science**, v. 45, p. 1-7, 2007.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos**. São Paulo: Varela, 1996. p. 184-193.

SHEWRY, P. R. Wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 1537-1553, 2009.

SHEWRY, P. R.; GILBERT, S.; TATHAM, A. S.; BELTON, P. S. The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining the functional properties of wheat gluten and dough. **Biopolymer Science: Food and Non Food Applications**, p. 13-18, 1998.

SHEWRY, P. R.; TATHAM, A. S. Disulphide bonds in wheat gluten proteins. **Journal Cereal Science**, v. 25, n. 3, p. 207-227, 1997.

SINGH, J.; KAUR, L.; McCARTHY, O. J. Factors influencing the physic-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications – a review. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 1-22, 2007.

SINGH, H.; MACRITCHIE, F. Application of polymer science to properties of gluten. **Journal of Cereal Science**, v. 33, p. 231-243, 2001.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231, 2003.

SINGHAL, R. S.; GUPTA, A. K.; KULKARNI, P. R. Low-calorie fat substitutes. **Trends in Food Science and Technology**, october, p. 241-244, 1991.

SKARA, N.; NOVOTNI, D.; CUKELJ, N.; SMERDEL, B.; CURIC, D. Combined effects of inulin, pectin and guar gum on the quality and stability of partially baked frozen bread. **Food Hydrocolloids**, v. 30, p. 428-436, 2013.

SKENDI, A.; BILIADERIS, C. G.; PAPAGEORGIOU, M.; IZYDORCZYK, M. S. Effects of two barley  $\beta$ -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. **Food Chemistry**, v. 119, n. 3, p. 1159-1167, 2010.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de

gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

SPIES, R. Application of rheology in the bread industry. In: FARIDI, H.; FARUBION, J. M. **Dough rheology and baked product texture**. New York, 1990. p. 343-362.

SROAN, B. S.; MacRITCHIE, F. Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking. II. The secondary liquid lamellae. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 41-46, 2009.

STASIAK, M.; RUSINEK, R.; MOLEND, M.; FORNAL, J.; BLASZCZAK, W. Effect of potato starch modification on mechanical parameters and granules morphology. **Journal of Food Engineering**, v. 102, p. 154-162, 2011.

STEVENS, D. The contribution of the germ to the oil content of wheat. **Cereal Chemistry**, v. 36, p. 452-461, 1959.

STIEGER, M. Texture-taste interactions: enhancement of taste intensity by structural modifications of the food matrix. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 521-527, 2011.

SUDHA, M. L.; VETRIMANI, R.; LEELAVATHI, K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. **Food Chemistry**, v. 100, p. 1365-1370, 2007.

SUGAWARA, T.; MIYAZAWA, T. Beneficial effect of dietary wheat glycolipids on cecum short-chain fatty acid and secondary bile acid profiles in mice. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 47, p. 299-305, 2001.

SURGET, A.; BARRON, C. Histologie du grain du ble. **Industrie des cereales**, v. 145, p. 3-7, 2005.

SVEC, I.; HRUSKOVA, M. Evaluation of wheat bread features. **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 4, p. 505-510, 2010.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and**

**Preference**, v. 13, p. 215-225, 2002.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of Textural Characteristics. **Journal of Food Science**, v. 28, p. 385-389, 1963.

TANG, M. C.; COPELAND, L. Analysis of complexes between lipids and wheat starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 67, p. 80-85, 2007.

TESTER, R. F. Properties of damaged starch granules: composition and swelling properties of maize, rice, pea and potato starch fractions in water at various temperatures. **Food Hydrocolloids**, v. 11, n. 3, p. 293-301, 1997.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch-composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 151-165, 2004.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. **Starches: practical guides for the food industry**. MN: Eagan Press, 1999. 94 p.

TIWARI, Y.; CUMMINS, E.; SULLIVAN, P.; FLAHERTY, J. O.; BRUNTON, N.; GALLAGHER, E. Probabilistic methodology for assessing changes in the level and molecular weight of barley  $\beta$ -glucan during bread baking. **Food Chemistry**, v. 124, n. 4, p. 1567-1576, 2011.

TORRES, G. A. M. **Proteínas de reserva do trigo: o pão ou o biscoito nosso de cada dia**. 2008. Disponível em [www.agrolink.com.br/cereaisdeinverno/NoticiaDetalhe.aspx?codNoticia=62613](http://www.agrolink.com.br/cereaisdeinverno/NoticiaDetalhe.aspx?codNoticia=62613)> Acessado em 18 de janeiro de 2008.

TRUSWELL, A. S. Cereal grains and coronary heart disease. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 56, n. 1, p. 1-14, 2002.

TURGEON, S. L.; RIOUX, L. Food matrix impact on macronutrients nutritional properties. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1915-1924, 2011.

U. S. Department of Agriculture and U. S. Department of Health and Human Services. **Dietary Guidelines for Americans, 2010**. 7<sup>th</sup> Edition, Washington, DC: U. S. Government Printing Office, December 2010. Disponível em <[www.dietaryguidelines.gov](http://www.dietaryguidelines.gov)> Acessado em 06 de março

de 2012.

VANDERVEEN, J. E.C.; GLINSMANN, W. H. Fat substitutes: a regulatory perspective. **Annual Reviews of Nutrition**, v. 12, p. 473-487, 1992.

VAN DER MAAREL, M. J. E. C.; LEEMHUIS, H. Starch modification with microbial alpha-glucanotransferase enzymes. **Carbohydrate Polymers**, v. 93, p. 116-121, 2013.

VAN DER MAAREL, M. J. E. C.; VAN DER VEEN, B.; UITDEHAAG, J. C. M.; LEEMHUIS, H.; DIJKHUIZEN, L. Properties and applications of starch-converting enzymes of the  $\alpha$ -amylase family. **Journal of Biotechnology**, v. 94, p. 137-155, 2002.

VÁZQUEZ, D. Aptitud industrial del trigo. Unidad de comunicación y transferencia de tecnología del INIA. **Série Técnica**, v. 177, p. 8-32, 2009.

VEREGIN, R. P.; FYFE, C. A.; MARCHESSAULT, R. H.; TAYLOR, M. G. Characterization of the crystalline A and B starch polymorphs and investigation of starch crystallization by high-resolution  $^{13}\text{C}$  CP/MAS NMR. **Macromolecules**, v. 19, p. 1030-1034, 1986.

VITOLO, M. R.; CAMPAGNOLO, P.D. B.; GAMA, C. M. Fatores associados ao risco de consumo insuficiente de fibra alimentar entre adolescentes. **Jornal de pediatria**, v. 83, n.1, Jan/Fev. 2007.

VLIET, T. V.; PRIMO-MARTÍN, C. Interplay between product characteristics, oral physiology and texture perception of cellular brittle foods. **Journal of Texture Studies**, v. 42, p. 82-94, 2011.

WANG, J.; HE, X.; HUANG, Q.; FU, X.; LIU, S. Physicochemical properties and application of micronized cornstarch in low fat cream. **Journal of Food Engineering**, v. 116, p. 881-888, 2013.

WANG, J.; ZHAO, M.; ZHAO, Q. Correlation of glutenin macropolymer with viscoelastic properties during dough mixing. **Journal of Cereal Science**, v. 45, p. 128-133, 2007.

WELLNER, N.; MILLS E. N. C.; BROWNSEY, G.; WILSON, R. H.; BROWN, N.; FREEMAN, J.; HALFORD, N. G.; SHEWRY, P. R.; BELTON, P. S. Changes in protein secondary structure during gluten deformation studied by dynamic Fourier transform infrared spectroscopy. **Biomacromolecules**, v. 6, p. 255-261, 2005.

WGC. Whole Grains Council. **A quick quiz on whole grains**, 2013. Disponível em <http://wholegrainscouncil.org/files/6.Standards+Definitions.pdf> Acessado em 10 de abril de 2013.

WOODS, L. F. J.; SWINTON, S. J. Enzymes in the starch and sugar industries. In: TUCKER, G. A.; WOODS, L. F. J. **Enzymes in food processing**. Springer Science and Business Media, 1995. p. 250-267.

WU H.H.; SARKO, A. The double-helical molecular structure of crystalline amylose. **Carbohydrate Research**, v. 61, p. 27-40, 1978.

YOOK, C.; ROBYT, J. F. Reactions of alpha amylases with starch granules in aqueous suspension giving products in solution and in a minimum amount of water giving products inside the granule. **Carbohydrate Research**, v. 337, n. 12, p. 1113-1117, 2002.

YU, L.; ZHOU, K. Antioxidant properties of bran extracts from 'platte' wheat grown at different locations. **Food Chemistry**, v. 90, n. 1-2, p. 311-316, 2004.

YUAN, J.; FLORES, R. A.; EUSTACE, D., MILLIKEN, G. A. A systematic analysis of the break subsystems of a wheat flour pilot mill. **Institution of Chemical Engineers**, v. 81, part C, p. 170-179, 2003.

ZAIDUL, I. S. M.; YAMAUCHI, H.; KIM, S.; HASHIMOTO, N.; NODA, T. RVA study of mixtures of wheat flour and potato starches with different phosphorus contents. **Food Chemistry**, v. 102, p. 1105-1111, 2007.

ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R.G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 317-328, 2011.

ZEEMAN, S. C.; KOSSMANN, J.; SMITH, A. M. Starch: its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, p. 209-234, 2010.

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, p. 805-809, 1999.

## **CAPÍTULO 2**

### **AVALIAÇÃO DE MISTURAS DE FARINHA DE TRIGO INTEGRAL COM ADIÇÃO DE SUBSTITUTO DE GORDURA**

## AValiação DE MISTURAS DE FARINHA DE TRIGO INTEGRAL COM ADIÇÃO DE SUBSTITUTO DE GORDURA

### RESUMO

Uma dieta rica em fibra alimentar e com baixo teor de gordura auxilia na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. A utilização de farinha de trigo integral (FI) e de substituto de gordura (SUB) agrega valor nutricional em produtos de panificação. Substitutos de gordura podem ser usados por atuar de forma similar aos lipídeos, porém reduzindo calorias. A presença do farelo, componente na farinha de trigo integral, afeta as propriedades reológicas da massa e a qualidade do pão. Considerando o desafio elaborar pães integrais, mantendo a qualidade da estrutura do miolo e a estabilidade das células gasosas, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características físico-químicas e reológicas de misturas de farinha de trigo integral e branca com substituto de gordura (amido de milho modificado enzimaticamente, denominado comercialmente como Selectamylx C150) visando futura aplicação na elaboração de pães. Os valores de glúten das misturas de farinhas (integral e branca) indicaram que o trigo utilizado no experimento é tecnologicamente viável de ser aplicado à panificação. O efeito da presença do substituto de gordura, na mistura com as farinhas, foi observado somente na análise de alveografia e de cor, das amostras 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB), pois quanto maior o teor de substituto, menores foram os resultados encontrados de tenacidade máxima, de trabalho mecânico (W) e de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$  e, maior foi a luminosidade ( $L^*$ ) das misturas de farinha. Tanto a análise de dextrose equivalente quanto a microestrutura do amido estudado como substituto de gordura mostraram-se indicados à aplicação tecnológica na fabricação de pães integrais. O comportamento da farinha de trigo integral se sobrepôs à manifestação do substituto de gordura, nos resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Propriedade físico-química. Reologia. Cereais. Amido.

## EVALUATION OF WHOLE-WHEAT FLOUR BLENDS WITH FAT REPLACER

### ABSTRACT

A high dietary fiber diet with fat reduction helps prevent chronic diseases. The use of whole-wheat flour (WF) and fat replacers (FR), reduces calorie content and adds nutritional value to baked goods. The presence of bran in whole-wheat flour affects the rheological properties of dough and the bread's quality. This study assesses the effect of a fat replacer (corn starch enzymatically modified, commercially referred as Selectamyl C150) on the physical-chemical and rheological properties of whole-wheat and white flour bread. The gluten values of the flour blends indicated that the wheat used in this experiment is technologically acceptable for baking. The effects of fat replacing in the flour blends were found only on alveography and color analysis of samples 3 (85WF+0,6FR) and 4 (85WF+2,6FR); higher contents of fat replacer resulted in lower the results for maximum tenacity, mechanical work,  $a^*$  and  $b^*$  chromaticity, and higher luminosity of the blends. Both dextrose equivalent analysis and microstructural analysis of the starch used as a fat replacer indicated applicability in whole-grain bread manufacturing. There was a preponderance of whole-wheat flour behavior in the results obtained.

**Keywords:** Physical properties. Rheology. Cereals. Starch.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Uma dieta com baixo consumo de gordura total, gordura saturada e colesterol (FDA, 2010) e, rica em fibra alimentar, reduz o risco de doenças crônicas não transmissíveis (ANDERSON et al., 2009), sendo reconhecida por nutricionistas, cientistas de alimentos e consumidores (LIU, 2007). O pão é um alimento básico consumido mundialmente, veículo usado como ingestão saudável de muitos ingredientes (O'CONNOR, 2012).

Na panificação, o amido é um componente importante, que interfere na textura e na qualidade da massa do pão. Os amidos modificados podem ser usados como melhoradores de qualidade (MIYAZAKI et al., 2006) e como substitutos de gordura (MA et al., 2006). Os substitutos de gordura derivados de carboidratos possuem capacidade de reter e estabilizar grandes quantidades de água (NONAKA, 1997), conferindo propriedades lubrificantes semelhante a dos lipídeos (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996), porém, com redução de calorias (VANDERVEEN; GLINSMANN, 1992).

Ao mesmo tempo que a farinha de trigo integral auxilia à manutenção da saúde (DEWETTINCK et al., 2008), a fibra presente no trigo tem efeito na qualidade tecnológica do pão, dependendo tanto da composição quanto do tamanho da partícula (SEYER; GÉLINAS, 2009; NOORT et al., 2010). A presença do farelo na farinha de trigo integral afeta consideravelmente as propriedades reológicas da massa e a qualidade do pão, como o teor de absorção de água, o volume, a textura e a cor (LAI et al., 1989). O efeito adverso das frações de fibras no volume do pão está altamente correlacionado ao desempenho do glúten, uma vez que a fibra interage fisicamente ou quimicamente com o glúten, influenciando negativamente na formação da rede de glúten (NOORT et al., 2010).

Sendo assim, torna-se um desafio elaborar pães integrais, mantendo a qualidade da estrutura do miolo (VAN HUNG et al., 2007) e a estabilidade das células gasosas (NOORT et al., 2010). Por isso, uma forma de estudar o efeito da adição de substituto de gordura juntamente com farinha de trigo integral a ser utilizada na elaboração de pães é a partir de análises físico-químicas (teor de glúten, dextrose equivalente, cor e microscopia) e reológicas (farinografia, alveografia e viscosidade), tanto do amido utilizado como substituto de gordura, quanto das misturas de farinhas com o próprio substituto.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 MATERIAL

O estudo foi realizado com farinhas de trigo integral (FI – proveniente do grão de trigo moído inteiro) e branca (FB), comerciais, obtidas a partir do mesmo lote de trigo, da safra 2012, cedidas pela Cooperativa Agrária Agroindustrial, de Guarapuava, Paraná – Brasil. As farinhas foram estocadas a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , até o momento das análises.

Como substituto de gordura (SUB), seguindo as orientações do fabricante, foi usado amido de milho modificado por conversão enzimática, indicado comercialmente para a elaboração de pães, cedido pela *Dutch Starches International* – DSI, Holanda, com nome comercial Selectamylx C150.

### 2.2.2 MÉTODOS

#### 2.2.2.1 Preparo das misturas de farinhas e de substituto de gordura

Foram preparadas misturas homogêneas com diferentes proporções de farinha de trigo integral (FI) e farinha de trigo branca (FB), conforme Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR). As amostras de farinhas foram preparadas e codificadas de acordo com o percentual utilizado: 95,35FI (95,35FI+4,65FB); 85FI (85FI+15FB); 60FI (60FI+40FB); 35FI (35FI+65FB); 24,64FI (24,64FI+75,36FB). Em seguida, as misturas das farinhas foram homogeneizadas com o substituto de gordura, também de acordo com os teores indicados no delineamento experimental.

#### 2.2.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido conforme Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR), com dois fatores ou variáveis independentes: percentual de farinha de trigo integral (FI) e percentual de substituto de gordura (SUB).

O DCCR totalizou 14 experimentos, sendo: 4 tratamentos fatoriais completos  $2^2$ , cada experimento com dois níveis, codificados como -1 e +1; 4 tratamentos axiais codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ , onde  $\alpha=(2^2)^{1/4} = 1,414$ ; 1 tratamento no ponto central repetido 6 vezes, para estimar o erro puro ou experimental (serve também para calcular a

reprodutibilidade do método, sendo que nesse, todos os fatores estão codificados como zero).

Os níveis de variação dos fatores estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação do delineamento experimental

| Variáveis | Níveis    |       |       |       |           |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-----------|
|           | $-\alpha$ | -1    | 0     | +1    | $+\alpha$ |
| x         | 24,64     | 35,00 | 60,00 | 85,00 | 95,35     |
| y         | 0,18      | 0,60  | 1,60  | 2,60  | 3,00      |

x: FI (farinha de trigo integral); y: SUB (substituto de gordura).

Os valores codificados e reais das duas variáveis são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Delineamento experimental para as duas variáveis independentes

| Experimentos | tratamentos | variáveis independentes |               |                     |               |
|--------------|-------------|-------------------------|---------------|---------------------|---------------|
|              |             | valor<br>codificado     | valor<br>real | valor<br>codificado | valor<br>real |
|              |             | x                       | FI            | y                   | SUB           |
| 1            | Fatoriais   | 35,00                   | -1            | 0,60                | -1            |
| 2            |             | 35,00                   | -1            | 2,60                | +1            |
| 3            |             | 85,00                   | +1            | 0,60                | -1            |
| 4            |             | 85,00                   | +1            | 2,60                | +1            |
| 5            | Axiais      | 24,64                   | $-\alpha$     | 1,60                | 0             |
| 6            |             | 95,35                   | $+\alpha$     | 1,60                | 0             |
| 7            |             | 60,00                   | 0             | 0,18                | $-\alpha$     |
| 8            |             | 60,00                   | 0             | 3,00                | $+\alpha$     |
| 9            | Centrais    | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 10           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 11           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 12           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 13           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 14           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |

FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura.

Dos 14 tipos de misturas com 6 repetições do ponto central, 12 tipos de misturas com 4 repetições do ponto central foram avaliadas, adotando-se delineamento bloco ortogonal (FISHER, 1918), que tem o propósito de eliminar o efeito da heterogeneidade presente nas unidades experimentais sobre a comparação dos tratamentos. Esse método propõe que sejam feitos grupos de parcelas homogêneas (blocos), os quais recebem, cada um, uma repetição de todos os tratamentos.

### **2.2.2.3 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste paramétrico, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o programa Statistica 7.0<sup>®</sup>.

A amostra 9-12\* foi utilizada para expressar a média entre as amostras do ponto central (de 9 a 12).

### **2.2.2.4 Análises físico-químicas**

#### **2.2.2.4.1 Teor de glúten**

Para análise de teor de glúten das amostras de misturas homogeneizadas de farinha de trigo integral e branca com substituto de gordura foi utilizado método nº 38-12 (AACC, 2000), com modificações, em duas determinações. Na primeira lavagem foi utilizada peneira fina de poliéster (88  $\mu\text{m}$  de abertura) e na, segunda lavagem, não foi utilizada peneira, somente o suporte metálico, possibilitando a saída do farelo de alta granulometria presente na farinha integral, permanecendo somente o glúten. Para a análise foi usado o equipamento Glutomatic (modelo 2100, marca Perten Instruments, EUA), obtendo-se os valores de índice de glúten, glúten úmido e glúten seco.

#### **2.2.2.4.2 Dextrose equivalente (DE)**

O grau de hidrólise do substituto de gordura foi avaliado através da determinação de Dextrose Equivalente (DE).

A determinação de açúcares redutores foi realizada pelo método do ácido 3,5-dinitro-salicílico (ADNS), conforme Miller (1959). Foi preparada solução de ADNS, composta por: 1 % de DNS; 0,2 % de fenol; 0,05 % de sulfito de sódio; 1 % de solução de NaOH (50 %) e, de acordo com Morita e Assumpção (2007), 20 % da solução de Sal de Rochelle,

também conhecido como tartarato de sódio e potássio. O ADNS atua como oxidante; o fenol aumenta a intensidade da cor produzida; o sulfito de sódio estabiliza a cor; o NaOH auxilia na solubilização e reduz a glicose; o sal de Rochelle, tem a função de prevenir a reação do oxigênio dissolvido.

Cerca de 0,01 g de amostra do amido hidrolisado foi pesado, em três determinações, adicionado de mais 1 mL de água destilada e 3 mL da solução de ADNS, que foi colocado em banho maria a 90 °C durante 15 min, até que a coloração tenha passado de amarelo para marrom. Ou seja, com a redução do 3,5 ADNS amarelo e a oxidação do sacarídeo à glicose, há formação de 3amino-5nitro-salicilato que é marrom. Em seguida, foram colocados os tubos de ensaio em banho maria à temperatura ambiente para então analisar o conteúdo de glicose em espectrofotômetro (Biospectro, SP-22, Brasil) com comprimento de onda de 540 nm, em leitura realizada contra o branco (água destilada).

O teor de DE foi calculado através de equação obtida de curva padrão de calibração construída previamente através de soluções de diferentes concentrações (0,00; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 mg/mL de água destilada) de glicose (APÊNDICE A).

A partir do valor de DE, usando a Equação 1 de acordo com Robin e colaboradores (1975 apud MUN; SHIN, 2006), pode-se calcular a percentagem de hidrólise, o que facilita a comparação com bibliografias de outros estudos.

$$\text{Porcentagem de hidrólise}[\%] = \left(ARS * \frac{0,9}{QAT}\right) * 100 \quad (1)$$

Onde: ARS = açúcar redutor [g], QAT = quantidade de amido total [g]).

#### 2.2.2.4.3 Cor

A avaliação da cor das amostras de misturas homogêneas de farinha de trigo integral e branca com substituto de gordura foi realizada no sistema de avaliação CIE L\*a\*b\* (*Commission Internationale de l'Eclairage* ou Comissão Internacional de Iluminação), usando colorímetro Konica Minolta CR 410 (iluminante D65 e ângulo 10°), Japão, acoplado ao processador DP-400, em três determinações. Os parâmetros avaliados foram: L\*, a\*, e b\*, onde L\* corresponde à luminosidade (0 = preto e 100 = branco); e a\* e b\* são coordenadas de

cromaticidade, onde:  $a^*$  corresponde à variação da cor, de verde (-60) a vermelho (+60);  $b^*$  corresponde à variação da cor, de azul (-60) a amarelo (+60).

#### 2.2.2.4.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para análise microscópica do substituto de gordura, a amostra foi fixada em suporte de alumínio, com auxílio de fita carbono dupla face, e revestida com duas camadas de ouro, de 200 Å. Para isso, foi usado o equipamento Sputtering, marca Baltec, modelo SCD 005 sputter coater. A visualização e fotografia da amostra foi feita em Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM-6390LV, na voltagem de aceleração de 10 kV.

### 2.2.2.5 Análises reológicas

#### 2.2.2.5.1 Farinografia

As propriedades farinográficas das amostras de misturas homogeneizadas de farinha de trigo integral e branca com substituto de gordura foram avaliadas em duas determinações através do método nº 54-21 (AACC, 2000), empregando farinógrafo (modelo Typ 820600, Brabender, Alemanha), usando 50 g de amostra (corrigida para 14 % de umidade), velocidade de mistura de 63 rev/min<sup>-1</sup> e consistência de 500 Unidades Farinográficas (UF). A umidade da amostra determinada em balança definidora de Ohaus (modelo MB 45, Toledo, Brasil) com critério padrão sendo: 3 gramas de amostra e temperatura de 30 °C. Os parâmetros avaliados foram: absorção de água (ABS, quantidade de água necessária para a massa atingir a consistência de 500 UF, expressa em %); estabilidade (diferença entre o tempo relativo ao ponto em que o máximo da curva intercepta a linha média de 500 UF e o tempo relativo ao ponto em que o topo da curva deixa a mesma linha, expresso em minutos); e índice de tolerância à mistura (ITM, expresso em UF).

#### 2.2.2.5.2 Alveografia

As características viscoelásticas das amostras de misturas homogeneizadas de farinha de trigo integral e branca com substituto de gordura foram analisadas por alveografia, utilizando alveógrafo Chopin (Chopin Technologies, França), seguindo método nº 54-30A (AACC,

2000), em duas determinações. Foram considerados os seguintes parâmetros: resistência máxima ou tenacidade (P), altura máxima do gráfico (mm), que indica a pressão máxima exercida no trabalho mecânico de expansão da massa; extensibilidade (L), corresponde à distância desde o início da injeção de ar até o rompimento, representando a capacidade de extensão da massa sem se romper; relação tenacidade/extensibilidade (P/L) expressa o equilíbrio da massa; energia de deformação da massa ou força de glúten (W) ( $J \times 10^{-4}$ ), correspondente ao trabalho mecânico necessário para inflar a bolha até o rompimento; índice de elasticidade (Ie), que permite prever o comportamento reológico da massa.

#### 2.2.2.5.3 Viscosidade

As propriedades de pasta das amostras de misturas homogeneizadas de farinha de trigo integral e branca com substituto de gordura foram realizadas em duas determinações, em equipamento analisador rápido de viscosidade - ARV, Modelo ARV-3D, com programa Termocline for Windows, versão 3.1, de acordo com manual do equipamento (NewPort Scientific – Perten Instruments, Suécia, 1998) e seguindo método nº 76-21 (AACC, 2000).

O perfil de viscosidade das amostras foi analisado na base de 12,3 % p/p (3,5g de amostra e  $25 \pm 0,1$  mL de água destilada), corrigidas para 14 % de umidade. O perfil de temperatura usado foi o Standard 1 (amostras mantidas a 50 °C por 1 minuto, aquecidas até 95 °C em 4:45 minutos e mantidas nesta temperatura durante 7:15 minutos, resfriadas a 50 °C até o tempo de 11 minutos e mantidas nesta temperatura até o total de 13 minutos de análise), sendo considerados os parâmetros: temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante, que é ligada à quebra e, viscosidade final, associada à tendência à retrogradação.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

#### 2.3.1.1 Teor de glúten

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de índice de glúten, glúten úmido e glúten seco.

Tabela 3 - Teor de glúten das misturas homogeneizadas de farinha de trigo integral e branca com substituto de gordura

| Misturas | GU (%)                     |        | GS (%)                   |        | IG                        |        |
|----------|----------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------------------|--------|
|          |                            | CV (%) |                          | CV (%) |                           | CV (%) |
| 1        | 25,20 <sup>ab</sup> ± 0,27 | 1,07   | 8,46 <sup>a</sup> ± 0,04 | 0,50   | 93,00 <sup>a</sup> ± 0,00 | 3,03   |
| 2        | 27,02 <sup>a</sup> ± 0,06  | 0,24   | 8,84 <sup>a</sup> ± 0,03 | 0,40   | 90,00 <sup>a</sup> ± 2,83 | 0,00   |
| 3        | 24,39 <sup>ab</sup> ± 0,35 | 1,42   | 8,57 <sup>a</sup> ± 0,08 | 0,99   | 94,50 <sup>a</sup> ± 0,71 | 3,14   |
| 4        | 22,73 <sup>ab</sup> ± 0,67 | 2,95   | 7,89 <sup>a</sup> ± 0,24 | 3,05   | 93,50 <sup>a</sup> ± 0,71 | 0,75   |
| 5        | 26,98 <sup>a</sup> ± 2,32  | 8,60   | 8,52 <sup>a</sup> ± 0,61 | 7,14   | 88,00 <sup>a</sup> ± 4,24 | 0,76   |
| 6        | 21,65 <sup>b</sup> ± 0,77  | 3,56   | 7,73 <sup>a</sup> ± 0,32 | 4,21   | 92,50 <sup>a</sup> ± 0,71 | 4,82   |
| 7        | 22,39 <sup>ab</sup> ± 3,68 | 16,43  | 8,14 <sup>a</sup> ± 0,86 | 10,50  | 95,00 <sup>a</sup> ± 5,67 | 0,76   |
| 8        | 25,34 <sup>ab</sup> ± 0,16 | 0,64   | 8,78 <sup>a</sup> ± 0,00 | 0,08   | 93,50 <sup>a</sup> ± 0,71 | 5,95   |
| 9        | 23,88 <sup>ab</sup> ± 0,38 | 1,54   | 8,69 <sup>a</sup> ± 0,15 | 1,79   | 94,50 <sup>a</sup> ± 0,71 | 0,76   |
| 10       | 25,02 <sup>ab</sup> ± 1,17 | 4,69   | 8,70 <sup>a</sup> ± 0,11 | 1,22   | 94,00 <sup>a</sup> ± 1,41 | 0,75   |
| 11       | 23,45 <sup>ab</sup> ± 0,66 | 2,83   | 8,07 <sup>a</sup> ± 0,15 | 1,93   | 95,00 <sup>a</sup> ± 4,24 | 1,50   |
| 12       | 23,37 <sup>ab</sup> ± 0,16 | 0,70   | 8,97 <sup>a</sup> ± 0,07 | 0,79   | 93,50 <sup>a</sup> ± 3,53 | 4,47   |
| 9-12*    | 23,93 <sup>ab</sup> ± 0,00 | 0,00   | 8,60 <sup>a</sup> ± 0,03 | 0,41   | 94,00 <sup>a</sup> ± 2,83 | 3,78   |

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de duas determinações ± desvio padrão. \* média entre as amostras de 9 a 12. FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura; GU: glúten úmido; GS: glúten seco; IG: índice de glúten; CV: coeficiente de variação.

Os coeficientes de variação, para os resultados de glúten úmido, apresentaram valores  $< 10\%$  (de 0,00 a 8,60%), ou seja, considerados baixos e com alta precisão; exceto para a análise da amostra 7, que apresentou coeficiente de variação (16,43%) considerado médio, por

estar entre 10 e 20 %, ou seja, com boa precisão (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Os coeficientes de variação, para os resultados de glúten seco, apresentaram valores  $< 10\%$  (de 0,08 a 7,14 %), ou seja, considerados baixos e com alta precisão; exceto para a análise da amostra 7, que apresentou coeficiente de variação (10,50 %) considerado médio, por estar entre 10 e 20 %, ou seja, com boa precisão (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Os coeficientes de variação, para os resultados de índice de glúten, apresentaram valores  $< 10\%$  (de 0,00 a 5,95 %), ou seja, considerados baixos e com alta precisão (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Dessa forma, os coeficientes de variação para os resultados de glúten úmido, de glúten seco e índice de glúten mostraram que as repetições do tratamento dos dados possuem homogeneidade (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Foram obtidos valores de glúten úmido entre 21,65 e 27,02 %, havendo diferença significativa apenas entre as amostras 2 (35FI+2,6SUB) e 6 (95,35FI+1,6SUB), 5 (24,64FI+1,6SUB) e 6 (95,35FI+1,6SUB). Esses resultados foram similares aos encontrados por Oro (2013), para mesclas de farinha de trigo branca e integral. De acordo com estudos realizados por Gonzáles e colaboradores (1998), com farinhas de trigo comerciais, o valor de glúten úmido pode variar entre 18 e 38 %, quando o conteúdo proteico é superior a 11 %, condizendo com os resultados obtidos para as misturas de farinhas usadas nesse estudo (APÊNDICE F).

Para glúten seco, os valores das amostras variaram entre 7,73 e 8,84 %, não havendo diferença significativa entre as mesmas. Os resultados desse estudo estão de acordo com o publicado por Vázquez (2009), que defende que os valores de glúten seco são pouco mais do que a terça parte do valor do glúten úmido; por Oro (2013), que obteve valores semelhantes para amostras de mesclas de farinha de trigo branca e integral; e por Gonzáles e colaboradores (1998), que encontraram valor de glúten seco variando de 6,5 a 12,7 %.

Os valores de índice de glúten obtidos a partir das misturas de farinhas variaram entre 88,00 e 95,00, não havendo diferença significativa entre as amostras. De acordo com Vázquez (2009), os resultados caracterizaram as misturas de farinha, como trigo forte, pois foram obtidos valores de índice de glúten maiores do que 90,00, sendo tecnologicamente viável de ser aplicado à panificação.

### 2.3.1.2 Dextrose equivalente

O valor de dextrose equivalente (DE) é a medida do conteúdo de açúcares redutores expresso como glicose, que equivale ao índice do grau de hidrólise do amido. A glicose pura tem DE igual 100, a maltose tem DE de 50 e o amido de zero (KHATOON et al., 2009).

De acordo com os resultados, a amostra de amido modificado enzimaticamente, usado como substituto de gordura para elaboração dos pães, apresentou valor de DE de 6,60 mg glicose/mL e de percentual de hidrólise de 46,89 %, em análise realizada à 90 °C, durante 15 minutos e solução de ácido dinitro-salicílico.

O resultado de DE nesse estudo foi similar aos valores encontrados por Khatoon e colaboradores (2009), oscilando de 5,3 a 8,2, nos primeiros 5 minutos de reação, e de 8 a 12, durante 30 minutos de reação (na concentração de 10 a 20 % e a 90 °C); e, por Woods e Swinton (1995), com valores oscilando de 5 a 8. Em ambos estudos, o amido hidrolisado foi indicado como substituto de gordura.

A eficiência de hidrólise encontrada nesse estudo foi similar aos apresentados por Uthumporn e colaboradores (2012), de 53 %; por Blazek e Gilbert (2010), de 50 % e, por Uthumporn e colaboradores (2010), de 52,6 %, para hidrólise durante 24 h.

Segundo Setser e Racette (1992), a partir da hidrólise enzimática do amido podem ser obtidas maltodextrinas com baixo teor de dextrose equivalente ( $DE \leq 6,0$ ), com propriedades próximas ao amido nativo e que apresentam baixa umectância, sendo então, usadas como substitutos de gordura, devido às propriedades de retenção de umidade, viscosidade e por apresentar sensação na boca similar à gordura (BEST, 1991, apud MUCCILLO, 2009); o que pode caracterizar, de certa forma, por similaridade, o substituto de gordura usado nesse estudo.

### 2.3.1.3 Cor

As propriedades de cor (luminosidade e coordenadas de cromaticidade) das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e do substituto de gordura estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de cor das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura

| Misturas | L*                        |        | a*                       |        | b*                         |        |
|----------|---------------------------|--------|--------------------------|--------|----------------------------|--------|
|          |                           | CV (%) |                          | CV (%) |                            | CV (%) |
| 1        | 89,72 <sup>a</sup> ± 0,11 | 0,12   | 0,53 <sup>d</sup> ± 0,04 | 7,55   | 8,03 <sup>ef</sup> ± 0,06  | 0,75   |
| 2        | 89,71 <sup>a</sup> ± 0,29 | 0,32   | 0,55 <sup>d</sup> ± 0,06 | 10,91  | 7,86 <sup>f</sup> ± 0,09   | 1,15   |
| 3        | 77,61 <sup>d</sup> ± 1,09 | 1,40   | 4,07 <sup>a</sup> ± 0,43 | 10,57  | 10,75 <sup>b</sup> ± 0,20  | 1,86   |
| 4        | 80,00 <sup>c</sup> ± 0,86 | 1,08   | 3,23 <sup>b</sup> ± 0,33 | 10,21  | 10,16 <sup>c</sup> ± 0,29  | 2,85   |
| 5        | 90,86 <sup>a</sup> ± 0,36 | 0,40   | 0,23 <sup>d</sup> ± 0,04 | 17,39  | 8,18 <sup>def</sup> ± 0,12 | 1,47   |
| 6        | 76,01 <sup>d</sup> ± 1,48 | 1,95   | 4,30 <sup>a</sup> ± 0,54 | 12,57  | 11,63 <sup>a</sup> ± 0,37  | 3,18   |
| 7        | 85,21 <sup>b</sup> ± 0,36 | 0,42   | 1,78 <sup>c</sup> ± 0,10 | 5,63   | 8,61 <sup>d</sup> ± 0,06   | 0,70   |
| 8        | 85,83 <sup>b</sup> ± 0,57 | 0,66   | 1,55 <sup>c</sup> ± 0,17 | 10,94  | 8,41 <sup>de</sup> ± 0,11  | 1,31   |
| 9        | 85,73 <sup>b</sup> ± 0,31 | 0,36   | 1,64 <sup>c</sup> ± 0,12 | 7,33   | 8,40 <sup>def</sup> ± 0,08 | 0,95   |
| 10       | 85,51 <sup>b</sup> ± 0,66 | 0,77   | 1,71 <sup>c</sup> ± 0,23 | 13,42  | 8,47 <sup>def</sup> ± 0,12 | 1,42   |
| 11       | 85,42 <sup>b</sup> ± 0,77 | 0,90   | 1,68 <sup>c</sup> ± 0,25 | 14,91  | 8,35 <sup>def</sup> ± 0,19 | 2,27   |
| 12       | 85,45 <sup>b</sup> ± 0,34 | 0,40   | 1,68 <sup>c</sup> ± 0,14 | 8,35   | 8,27 <sup>def</sup> ± 0,08 | 0,97   |
| 9-12*    | 85,51 <sup>b</sup> ± 0,31 | 0,36   | 1,68 <sup>c</sup> ± 0,09 | 5,37   | 8,37 <sup>def</sup> ± 0,04 | 0,48   |

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. \* média entre as amostras de 9 a 12. FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura; L\*: luminosidade; a\* e b\*: coordenadas de cromaticidade; CV: coeficiente de variação.

Para todas as medidas de luminosidade L\* e cromaticidade b\*, os coeficientes de variação são considerados baixos ( $< 10\%$ ), indicando alta precisão segundo Pimentel-Gomes (2009) e, para cromaticidade a\*, os coeficientes de variação são considerados médios (de 10 a 20%), indicando boa precisão segundo o mesmo autor, mostrando que a repetição no tratamento dos dados possui homogeneidade.

As amostras 1 (35FI+0,6SUB), 2 (35FI+2,6SUB) e 5 (24,64FI+1,6SUB), com menores teores de farinha integral e variação no substituto de gordura, apresentaram valores significativamente maiores para luminosidade ( $L^*$  com tendência ao branco), com relação às outras amostras, ou seja, mesmo havendo diferentes teores de substituto de gordura entre as três amostras, o teor de farinha de trigo branca define o parâmetro luminosidade (Tabela 4). O que pode ser comprovado nas amostras 7, 8 e 9-12\* que, mesmo com teores diferentes em substituto de gordura (0,18, 3,00 e 1,60 %, respectivamente), não apresentaram diferença significativa para  $L^*$ , pois continham o mesmo percentual (60 %) de farinha de trigo integral.

Porém, quando o teor de farinha de trigo integral aumenta para 85 %, o teor de substituto se manifesta na  $L^*$ . Isso pode ser observado entre as amostras 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB), em que a amostra 4 apresenta maior teor em substituto de gordura e valor superior, em  $L^*$ , à amostra 3 ( $p \leq 0,05$ ).

Com relação ao parâmetro cromaticidade  $a^*$ , as amostras mostraram comportamento análogo à luminosidade  $L^*$  (Tabela 4). Os menores teores para cromaticidade  $a^*$  são observados entre as amostras 1 (35FI+0,6SUB), 2 (35FI+2,6SUB) e 5 (24,64FI+1,6SUB), com menores teores de farinha integral e variação no teor de substituto de gordura.

De forma geral, à medida que aumenta o teor de farinha de trigo integral, a cromaticidade  $a^*$  aumenta. Entre as amostras, 7, 8 e 9-12\*, com 60 % farinha de trigo integral, e diferentes teores de substituto de gordura, não se observou diferença significativa para o parâmetro cromaticidade  $a^*$ . Entretanto, quando o teor de farinha de trigo integral aumenta para 85 %, como nas amostras 3 e 4, com 0,6 e 2,6 % de substituto de gordura, respectivamente, foi observado que a cromaticidade  $a^*$  é significativamente maior na amostra com menor teor de substituto de gordura.

Com relação ao parâmetro cromaticidade  $b^*$ , os maiores valores são observados nas amostras em que os teores de farinha de trigo integral são maiores, 11,63 para amostra 6 (95,35FI+1,6SUB), 10,75 para amostra 3 (85FI+0,6SUB) e 10,16 para amostra 4 (85FI+2,6SUB), subsequentemente. E, as amostras  $\leq 60$ FI, independentemente do teor de substituto de gordura, mostraram ser todas significativamente iguais para cromaticidade  $b^*$  (Tabela 4).

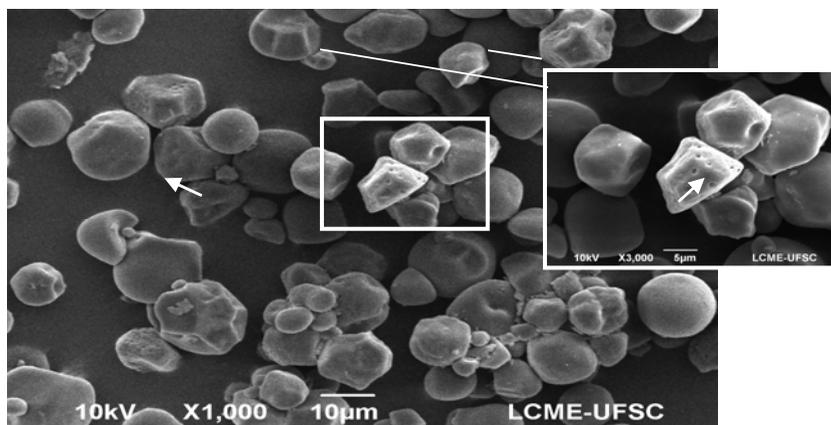
Os resultados mostram que, mesmo com a presença do substituto de gordura e independentemente do teor do mesmo, à medida que aumenta o teor de farinha de trigo integral, as amostras ficam mais

escuras, vermelhas e amarelas, o que está de acordo com resultados de Niu et al., (2014), que estudaram os efeitos de partículas finas a partir da moagem nos atributos de qualidade de farinha de trigo integral. Ou seja, há diminuição da luminosidade ( $L^*$ ) e aumento da cromaticidade  $b^*$  à medida que o teor de farinha de trigo integral aumenta, como em trabalho similar (HIDALGO et al., 2014) em que a granulometria da farinha de trigo estudada determinou a cor. De acordo com Hidalgo e Brandolini (2008), a cor da farinha é determinada basicamente pela combinação da luminosidade ( $L^*$ ) e do tom amarelo ( $+b^*$ ), já que a luminosidade é influenciada pelo conteúdo de farelo, enquanto que o tom amarelo é afetado pelo conteúdo de carotenoides.

#### 2.3.1.4 Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 1 ilustra as imagens do substituto de gordura, analisado por microscopia eletrônica de varredura.

Figura 1 - Microscopia eletrônica de varredura do substituto de gordura.



A seta (→) mostra indícios de danos por enzimas.

As micro-eleto-fotografias do substituto de gordura mostraram a estrutura granular do amido com irregularidades na forma e no tamanho,

com a presença de poros e reentrâncias, como pode ser observado com nitidez no destaque da imagem.

A partir da comparação com imagens de estudo similar, aparecem pequenos poros e crateras distribuídos aleatoriamente pela superfície do grânulo, indicando que a hidrólise dos grânulos de amido não ocorreu uniformemente (UTHUMPORN et al., 2010). Assim, a imagem observada mostra que o amido utilizado como substituto de gordura sofreu, provavelmente, ação da enzima  $\alpha$ -amilase (MA et al., 2006), e/ou ação da enzima glicoamilase (CHEN; ZHANG, 2012).

### 2.3.2 AVALIAÇÃO REOLÓGICA

#### 2.3.2.1 Farinografia

As propriedades farinográficas, absorção de água, tempo de desenvolvimento, estabilidade e índice de tolerância à mistura, das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e do substituto de gordura, estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Farmografia das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura

| Misturas | FI (%) | ABS (%) |                            | TDM (min) |                            | EST (min) |                            | ITM (UF) |                            |       |
|----------|--------|---------|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------|----------------------------|-------|
|          |        | SUB (%) | CV (%)                     | CV (%)    | CV (%)                     | CV (%)    | CV (%)                     | CV (%)   | CV (%)                     |       |
| 1        | 55,00  | 0,60    | 56,80 <sup>b</sup> ± 0,14  | 0,25      | 9,50 <sup>b</sup> ± 0,14   | 1,51      | 10,00 <sup>f</sup> ± 0,07  | 0,70     | 17,50 <sup>b</sup> ± 2,12  | 12,11 |
| 2        | 55,00  | 2,60    | 55,60 <sup>a</sup> ± 0,21  | 0,38      | 10,00 <sup>de</sup> ± 0,23 | 2,30      | 9,40 <sup>b</sup> ± 0,28   | 2,98     | 18,00 <sup>b</sup> ± 1,41  | 7,83  |
| 3        | 85,00  | 0,60    | 62,30 <sup>b</sup> ± 0,42  | 0,67      | 20,40 <sup>a</sup> ± 0,41  | 2,01      | 18,00 <sup>b</sup> ± 0,42  | 2,33     | 16,00 <sup>bc</sup> ± 2,28 | 14,25 |
| 4        | 85,00  | 2,60    | 61,30 <sup>c</sup> ± 0,28  | 0,46      | 16,20 <sup>b</sup> ± 0,21  | 1,30      | 17,60 <sup>bc</sup> ± 0,03 | 0,17     | 7,00 <sup>d</sup> ± 0,71   | 10,14 |
| 5        | 24,64  | 1,60    | 56,00 <sup>b</sup> ± 0,07  | 0,13      | 9,20 <sup>b</sup> ± 0,07   | 0,76      | 8,60 <sup>f</sup> ± 0,00   | 0,00     | 28,00 <sup>d</sup> ± 0,00  | 0,00  |
| 6        | 95,35  | 1,60    | 64,20 <sup>b</sup> ± 0,40  | 0,62      | 16,70 <sup>b</sup> ± 0,23  | 1,38      | 21,80 <sup>b</sup> ± 0,06  | 0,28     | 6,00 <sup>d</sup> ± 0,43   | 7,17  |
| 7        | 60,00  | 0,18    | 58,90 <sup>d</sup> ± 0,26  | 0,44      | 12,50 <sup>d</sup> ± 0,17  | 1,36      | 14,60 <sup>de</sup> ± 0,21 | 1,44     | 11,00 <sup>cd</sup> ± 1,41 | 12,82 |
| 8        | 60,00  | 3,00    | 56,60 <sup>b</sup> ± 0,21  | 0,37      | 12,35 <sup>d</sup> ± 0,11  | 0,89      | 12,60 <sup>b</sup> ± 0,23  | 1,83     | 15,00 <sup>bc</sup> ± 2,83 | 18,87 |
| 9        | 60,00  | 1,60    | 57,70 <sup>de</sup> ± 0,14 | 0,24      | 11,70 <sup>d</sup> ± 0,26  | 2,22      | 13,90 <sup>de</sup> ± 0,13 | 0,94     | 9,00 <sup>d</sup> ± 0,25   | 2,78  |
| 10       | 60,00  | 1,60    | 58,10 <sup>d</sup> ± 0,17  | 0,29      | 15,00 <sup>b</sup> ± 0,42  | 2,80      | 17,60 <sup>bc</sup> ± 0,62 | 3,52     | 11,00 <sup>cd</sup> ± 0,14 | 1,27  |
| 11       | 60,00  | 1,60    | 58,50 <sup>de</sup> ± 0,24 | 0,41      | 10,50 <sup>de</sup> ± 0,57 | 5,43      | 14,00 <sup>de</sup> ± 0,49 | 3,50     | 7,00 <sup>d</sup> ± 0,17   | 2,43  |
| 12       | 60,00  | 1,60    | 57,40 <sup>de</sup> ± 0,04 | 0,07      | 11,20 <sup>f</sup> ± 0,21  | 1,88      | 16,90 <sup>bc</sup> ± 0,24 | 1,42     | 7,00 <sup>d</sup> ± 0,46   | 6,57  |
| 9-12*    | 60,00  | 1,60    | 57,90 <sup>de</sup> ± 0,21 | 0,36      | 12,10 <sup>de</sup> ± 0,13 | 1,07      | 15,60 <sup>cd</sup> ± 0,05 | 0,32     | 9,00 <sup>d</sup> ± 0,61   | 6,78  |

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de duas determinações ± desvio padrão.

\* média entre as amostras de 9 a 12. FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura; ABS: absorção de água; TDM: tempo de desenvolvimento da massa; EST: estabilidade; ITM: índice de tolerância à mistura; UF: unidades farmográficas; CV: coeficiente de variação.

Para as medidas de absorção de água, os coeficientes de variação apresentaram valores  $< 10\%$  (de 0,07 a 0,67 %); para tempo de desenvolvimento da massa (TDM), valores  $< 10\%$  (de 0,76 a 5,43 %); e para estabilidade, valores  $< 10\%$  (de 0,17 a 3,52 %). Ou seja, valores de coeficiente de variação considerados baixos e com alta precisão (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Para as medidas de índice de tolerância à mistura, alguns coeficientes de variação apresentaram valores  $< 10\%$  (de 0,00 a 7,83 %) e outros apresentaram valores de 10 a 20 % (10,14 a 18,87 %), ou seja, considerados, respectivamente, baixos, com alta precisão e altos com boa precisão (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Dessa forma, os coeficientes de variação para os resultados de absorção de água, tempo de desenvolvimento e índice de tolerância à mistura mostraram que as repetições do tratamento dos dados possuem homogeneidade (PIMENTEL-GOMES, 2009).

As amostras das misturas avaliadas, entre farinha de trigo integral, farinha de trigo branca e substituto de gordura, mostraram valores de absorção de água entre 55,60 e 64,20 %. Em panificação, quanto maior for a absorção de água, maior será a quantidade de pão que se pode elaborar a partir de uma mesma quantidade de farinha. Um valor de absorção considerado adequado, deve ser maior do que 58 % (MONTENEGRO; ORMENESE, 2008) ou 60 % (VÁZQUEZ, 2009). As farinhas usadas para o estudo, farinha integral e branca foram provenientes do mesmo lote de grãos, no qual a farinografia da farinha de trigo branca apresentou teor de absorção de água de 59,0 %.

Na mistura, à medida que o teor de farinha de trigo integral aumentou, aumentou também o teor de absorção de água e a retenção de amostra no tamiz de 600  $\mu\text{m}$ , caracterizando tamanho maior de partícula, devido à presença de fragmentos derivados das camadas externas do grão. Comportamentos similares foram publicados em estudos anteriores, por Seyer e Gélinas (2009), em que o teor de absorção de água foi maior para farinha de trigo integral (64,2-66,2 %) do que para farinha de trigo branca (54,4-57,3 %); por Sudha e colaboradores (2007), em que o teor de absorção de água aumenta com o incremento de farinha de trigo integral (63,0-70,0 %); por ORO (2013), com valor de absorção de água de 64,05 % para farinha de trigo 100 % integral e, por Noort e colaboradores (2010), com valor de absorção de água em torno 64,00 % para mistura de farelo e farinha de trigo.

De maneira geral, para as amostras com os mesmos teores de farinha de trigo integral entre si, quando há aumento do teor de substituto

de gordura, houve decréscimo na percentagem de absorção de água ( $p \leq 0,05$ ). O mesmo ocorreu em trabalhos similares, com substituição de parte de farinha de trigo na massa do pão, por amido de milho (não ceroso) com ligações *cross-linking* (MORITA et al., 2002), e inserção de grânulos de amido hidrolisado succinato de sódio, seco por pulverização (HADNADEV et al., 2013). Os substitutos de gordura atuam como as gorduras, plastificando a massa (GHOTRA et al., 2002), revestindo a estrutura proteica do glúten e os grânulos de amido, impedindo-os de absorver água durante o processo de mistura (CHIN et al., 2010)

De acordo com Ortiz e Lafond (2012), o farelo de trigo possui propriedades de hidratação e de resgate de água, que ocorrem devido à presença de hemicelulose, celulose e lignina, estruturas moleculares altamente organizadas que possuem grande número de hidroxilas capazes de interagir com a água através de ligações de hidrogênio. Quanto maior o tamanho da partícula de farelo de trigo, devido à presença de fibra insolúvel, maior é a necessidade de água na massa do pão para hidratá-las (ORTIZ; LAFOND, 2012). Entretanto, havendo redução do tamanho da partícula da fibra, haverá aumento da superfície de contato que proporciona mais interações adversas com o glúten (ácido ferúlico ligado à parede celular insolúvel interage com as proteínas do glúten) e haverá liberação de componentes reativos (glutaciona, fitatos), devido à quebra das células das camadas externas do grão, interagindo e afetando, assim, a funcionalidade da rede de glúten. Ou seja, as fibras podem afetar negativamente as propriedades físicas e de formação da rede de glúten, a partir da combinação de mecanismo físico e químico (ORTIZ; LAFOND, 2012).

Com relação ao TDM, foram obtidos resultados variando entre 9,20 e 20,40 min (Tabela 5). De forma geral, quanto maiores os teores de farinha de trigo integral, maior foi o tempo de desenvolvimento. Considerando que com o aumento do conteúdo de farinha integral há aumento nos teores de fibra, esse é um comportamento esperado e está de acordo com outros estudos em que o aumento do teor de diferentes fibras incrementou o valor do tempo de desenvolvimento da massa de pão, como  $\beta$ -glucana (SKENDI et al., 2010); inulina (PERESSINI; SENSIDONI, 2009); farelo de trigo, arroz, aveia e cevada (SUDHA et al., 2007). Os resultados do tempo de desenvolvimento com relação aos teores de substituto de gordura, não apresentaram comportamento padrão.

A estabilidade indica a força da massa e a resistência ao amassamento (EL-PORAI et al., 2013). As amostras de misturas entre farinha de trigo integral, farinha de trigo branca e substituto de gordura

estudadas apresentaram valores de estabilidade entre 8,60 e 21,80 min (Tabela 5), sendo que para Cauvain (2012), a farinha de trigo branca indicada tecnologicamente à elaboração de pães deve ter valor de estabilidade de 10,0 a 16,0 min.

No presente estudo, não foi observada diferença significativa na estabilidade entre as amostras com os mesmos teores de farinha integral entre si e diferentes teores de substituto de gordura. Entretanto, quanto maiores os teores de farinha de trigo integral, maiores são as diferenças do tamanho das partículas da farinha de trigo integral, maior foi o valor de estabilidade, o que está de acordo com resultados de Skendi e colaboradores (2010), em estudo com incremento de diferentes teores de  $\beta$ -glucanas. Alguns estudos (SUDHA et al., 2007; SEYER; GÉLINAS, 2009; ORO, 2013) mostram o contrário, que há aumento do valor de estabilidade, a partir do aumento da quantidade de farinha de trigo branca, como em trabalho similar (LI et al., 2012) em que partículas superfinais de pó de chá verde (diâmetro médio de 22  $\mu\text{m}$ ) possuem impacto menos destrutivo na formação da rede de glúten do que partículas grandes (diâmetro médio > 500  $\mu\text{m}$ ).

As amostras estudadas mostraram em valores de índice de tolerância à mistura situados entre 6,00 a 28,00 UF (Tabela 5). À medida que o teor de farinha de trigo integral aumentou, o índice de tolerância à mistura diminuiu. Esse comportamento está de acordo com estudo em que o aumento do teor de diferentes fibras diminuiu os valores do índice de tolerância à mistura, como farelo de trigo, arroz, aveia e cevada (SUDHA et al., 2007).

### **2.3.2.2 Alveografia**

As propriedades alveográficas de resistência máxima ou tenacidade, extensibilidade, relação tenacidade/extensibilidade, trabalho mecânico e índice de elasticidade das misturas homogêneas de farinhas de trigo e do substituto de gordura estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Alveografia das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura

| Misturas | FI (%) | SUB (%) | P (mm H <sub>2</sub> O)     |        |                           | L (mm) | P/L                       |        | W (x 10 <sup>-4</sup> J) |       |
|----------|--------|---------|-----------------------------|--------|---------------------------|--------|---------------------------|--------|--------------------------|-------|
|          |        |         | CV (%)                      | CV (%) | CV (%)                    |        | CV (%)                    | CV (%) |                          |       |
| 1        | 35,00  | 0,60    | 104,0 <sup>bed</sup> ± 1,4  | 1,36   | 27,0 <sup>a</sup> ± 0,0   | 0,00   | 3,85 <sup>d</sup> ± 0,06  | 1,47   | 124,0 <sup>a</sup> ± 1,4 | 1,14  |
| 2        | 35,00  | 2,60    | 113,0 <sup>cd</sup> ± 2,81  | 2,50   | 26,0 <sup>a</sup> ± 1,4   | 5,44   | 4,35 <sup>d</sup> ± 0,35  | 7,96   | 131,0 <sup>a</sup> ± 2,8 | 2,16  |
| 3        | 85,00  | 0,60    | 120,0 <sup>ab</sup> ± 1,4   | 1,18   | 11,5 <sup>de</sup> ± 0,7  | 6,15   | 10,45 <sup>e</sup> ± 0,52 | 5,01   | 61,0 <sup>e</sup> ± 4,2  | 6,96  |
| 4        | 85,00  | 2,60    | 102,0 <sup>d</sup> ± 1,4    | 1,39   | 9,5 <sup>e</sup> ± 0,7    | 7,44   | 10,76 <sup>e</sup> ± 0,65 | 6,05   | 40,0 <sup>e</sup> ± 0,0  | 0,00  |
| 5        | 24,64  | 1,60    | 103,5 <sup>cd</sup> ± 0,7   | 0,68   | 28,5 <sup>a</sup> ± 0,7   | 2,48   | 3,63 <sup>d</sup> ± 0,06  | 1,75   | 131,5 <sup>a</sup> ± 3,5 | 2,69  |
| 6        | 95,35  | 1,60    | 126,5 <sup>a</sup> ± 7,8    | 6,15   | 13,0 <sup>cd</sup> ± 1,4  | 10,88  | 9,75 <sup>ab</sup> ± 0,46 | 4,71   | 69,5 <sup>e</sup> ± 10,6 | 15,26 |
| 7        | 60,00  | 0,18    | 104,0 <sup>cd</sup> ± 2,8   | 2,72   | 22,0 <sup>b</sup> ± 1,4   | 6,43   | 4,73 <sup>d</sup> ± 0,18  | 3,73   | 104,0 <sup>b</sup> ± 7,1 | 6,80  |
| 8        | 60,00  | 3,00    | 113,5 <sup>abcd</sup> ± 2,1 | 1,87   | 15,5 <sup>c</sup> ± 0,7   | 4,56   | 7,33 <sup>c</sup> ± 0,47  | 6,46   | 76,5 <sup>e</sup> ± 0,7  | 0,92  |
| 9        | 60,00  | 1,60    | 114,0 <sup>abcd</sup> ± 1,4 | 1,24   | 15,0 <sup>c</sup> ± 0,0   | 0,00   | 7,60 <sup>c</sup> ± 0,10  | 1,30   | 76,0 <sup>e</sup> ± 0,0  | 0,00  |
| 10       | 60,00  | 1,60    | 118,0 <sup>ab</sup> ± 1,4   | 1,20   | 13,5 <sup>cd</sup> ± 0,7  | 5,24   | 8,75 <sup>bc</sup> ± 0,56 | 6,38   | 69,5 <sup>e</sup> ± 3,5  | 5,09  |
| 11       | 60,00  | 1,60    | 116,0 <sup>abc</sup> ± 4,2  | 3,66   | 14,5 <sup>cd</sup> ± 0,7  | 4,88   | 8,00 <sup>c</sup> ± 0,10  | 1,24   | 73,5 <sup>e</sup> ± 7,8  | 10,58 |
| 12       | 60,00  | 1,60    | 114,0 <sup>abcd</sup> ± 5,6 | 4,96   | 14,50 <sup>cd</sup> ± 0,7 | 4,88   | 7,88 <sup>c</sup> ± 0,78  | 9,87   | 70,0 <sup>e</sup> ± 2,8  | 4,04  |
| 9-12*    | 60,00  | 1,60    | 115,5 <sup>abc</sup> ± 2,1  | 1,84   | 14,0 <sup>cd</sup> ± 0,0  | 0,00   | 8,05 <sup>c</sup> ± 0,29  | 3,60   | 72,0 <sup>e</sup> ± 1,4  | 1,96  |

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de duas determinações ± desvio padrão. ( $p < 0,05$ ). \* média entre as amostras 9 a 12. FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura; P: resistência máxima ou tenacidade; L: extensibilidade; P/L: relação tenacidade/extensibilidade; W: trabalho mecânico; CV: coeficiente de variação. Obs: o índice de elasticidade (Ie) é calculado pelo valor de P200/Pmáximo, onde P200 é igual à altura da curva a 40 mm do seu ponto de origem, porém, uma vez que a curva não atingiu 40 mm, o valor obtido de Ie para todas as amostras foi zero.

A partir da análise alveográfica, foram obtidos dados de tenacidade, extensibilidade, relação tenacidade/extensibilidade, trabalho mecânico e índice de elasticidade. Para praticamente todas as medidas, os coeficientes de variação foram considerados baixos ( $< 10\%$ ), ou seja, segundo Pimentel-Gomes (2009), possuem alta precisão exceto para o trabalho mecânico das amostras 6 ( $95,35FI+1,6SUB$ ) e 11 ( $60FI+1,60SUB$ ), em que os coeficientes de variação foram médios (de  $10$  a  $20\%$ ), apresentando alta ou boa precisão (PIMENTEL-GOMES, 2009), mostrando homogeneidade nas repetições do tratamento dos dados.

Na análise de alveografia, os valores de tenacidade (P) para as amostras estudadas variaram de  $102,0$  a  $126,5$  mm H<sub>2</sub>O (Tabela 6). Os resultados mostraram que há tendência ao aumento do valor de tenacidade de acordo com o aumento do teor de farinha de trigo integral. Não foi observada diferença significativa na tenacidade entre as amostras com os mesmos teores de farinha integral entre si e diferentes teores de substituto de gordura, considerando-se a média entre as amostras 9 a 12, exceto entre as amostras 3 ( $85FI+0,6SUB$ ) e 4 ( $85FI+2,6SUB$ ), provavelmente pela maior quantidade de substituto de gordura ter diminuído a tenacidade, como em trabalho com adição de inulina e alfarroba que deixaram a massa mais estável, suportando assim mais fermentação (WANG et al., 2002).

Resultados similares para tenacidade (P) foram encontrados por Oro (2013), com farinha de trigo integral de granulometria uniforme; por El-Porai e colaboradores (2013), a partir da moagem de trigo duro e variação do tempo de condicionamento em  $12$ ,  $24$  e  $36$  horas; por Bockstaele e colaboradores (2008), com trigo europeu e cultivares Kodex, Rustic e Altos; e, por Rosell e colaboradores (2001), que estudaram os efeitos de hidrocolóides, como a goma xantana, nas propriedades da massa do pão.

Para extensibilidade da massa (L), os valores obtidos variaram de  $9,5$  a  $28,5$  mm. No presente estudo, não foi observada diferença significativa na extensibilidade entre as amostras com os mesmos teores de farinha integral e diferentes teores de substituto de gordura, considerando-se a média entre as amostras 9 a 12 (Tabela 6). Entretanto, o valor de extensibilidade aumenta quanto menor for o teor de farinha de trigo integral (menor o teor de fibras), como mostrado em trabalho similar com farinha de trigo integral (ORO, 2013).

Para a relação tenacidade/extensibilidade (P/L), os valores encontrados estão entre  $3,63$  e  $10,76$  (Tabela 6). Dentre as amostras analisadas, não foi observada diferença significativa na extensibilidade

entre as amostras com os mesmos teores de farinha integral e diferentes teores de substituto de gordura, considerando-se a média entre as amostras 9 a 12. No entanto, quanto maior o teor de farinha de trigo integral, há maior tenacidade (P) e menor extensibilidade (L), causando aumento na relação tenacidade/extensibilidade (P/L), provavelmente pela presença de fibras que causam diluição da rede de glúten e aumentam a resistência à extensão. Resultado similar foi encontrado por ORO (2013).

Com relação aos valores de força de glúten (W), foram obtidos valores de  $40,0 \times 10^{-4}$  a  $131,5 \times 10^{-4}$  J (Tabela 6). Não foi observada diferença significativa entre as amostras com os mesmos teores de farinha integral e diferentes teores de substituto de gordura, considerando-se a média entre as amostras 9 a 12, exceto entre as amostras 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB), provavelmente pela maior quantidade de substituto de gordura, ter diminuído o trabalho mecânico necessário para inflar a bolha até o rompimento, como em trabalho com adição de inulina e alfarroba que deixaram a massa mais estável, podendo suportar mais fermentação (WANG et al., 2002). Em suma, quanto maior o teor de farinha de trigo integral menor é valor de força de glúten, ou seja, menor é o trabalho mecânico. Comportamento similar foi encontrado por Oro (2013).

O cálculo do índice de elasticidade (Ie) é feito a partir da relação  $P_{200}/P_{máximo}$ , portanto, o valor de tenacidade quando 200 mL de ar foram insuflados na bolha de massa, dividido pelo valor máximo de tenacidade obtido antes do rompimento da bolha (CONCEREAL, 2014). Portanto, como nenhuma amostra estudada suportou a pressão de 200 mL de ar antes do rompimento, o índice de estabilidade não pode ser calculado (Tabela 6).

### **2.3.2.3 Viscosidade**

Os resultados das propriedades de pasta (temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima, quebra, viscosidade final e tendência à retrogradação) das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e do substituto de gordura, estão apresentados na Tabela 7 e ilustrados na Figura 2.

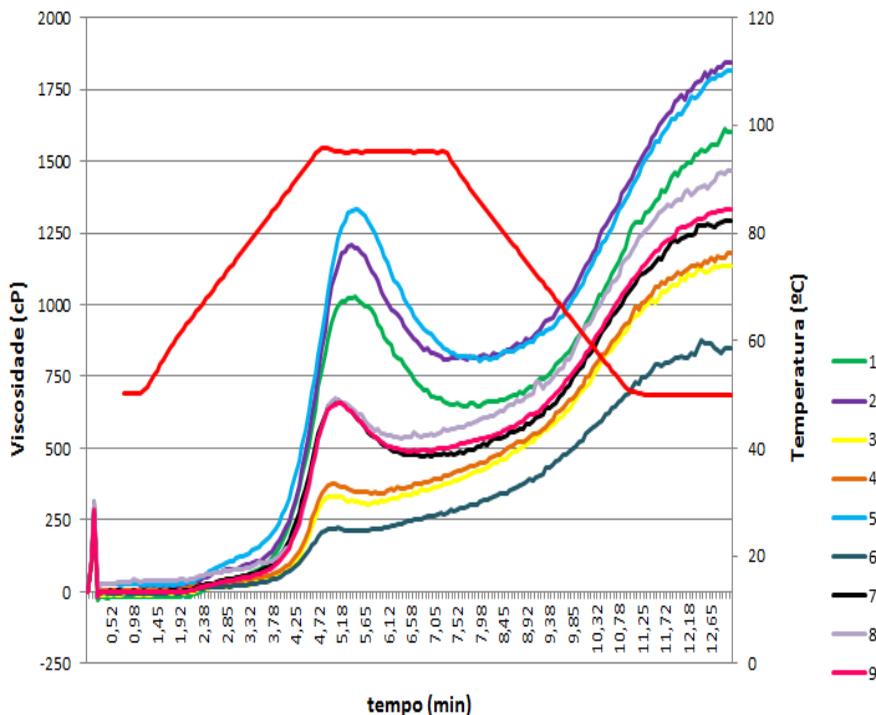
Tabela 7 - Propriedades de pasta das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura

| Misturas | FI    |         | Temp Pasta (°C)           | Visc Máx (cP) |                              | Visc Min (cP) |                              | Quebra (cP) |                              | Visc Final (cP) |                                | Tend Retrog (cP) |                                |       |
|----------|-------|---------|---------------------------|---------------|------------------------------|---------------|------------------------------|-------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|
|          | (%)   | SUB (%) |                           | CV (%)        | CV (%)                       | CV (%)        | CV (%)                       | CV (%)      | CV (%)                       | CV (%)          | CV (%)                         | CV (%)           |                                |       |
| 1        | 35,00 | 0,60    | 50,40 <sup>a</sup> ± 0,28 | 0,56          | 1032,00 <sup>b</sup> ± 21,21 | 2,06          | 641,00 <sup>b</sup> ± 26,87  | 4,19        | 391,00 <sup>b</sup> ± 5,66   | 1,45            | 1599,00 <sup>ab</sup> ± 16,97  | 1,06             | 985,00 <sup>ab</sup> ± 9,90    | 1,03  |
| 2        | 35,00 | 2,60    | 50,42 <sup>a</sup> ± 0,46 | 0,91          | 1207,50 <sup>a</sup> ± 50,20 | 4,16          | 805,00 <sup>b</sup> ± 38,18  | 4,74        | 402,50 <sup>b</sup> ± 12,02  | 2,99            | 1843,5 <sup>a</sup> ± 88,40    | 4,79             | 1038,50 <sup>a</sup> ± 50,20   | 4,83  |
| 3        | 85,00 | 0,60    | 50,22 <sup>a</sup> ± 0,11 | 0,21          | 361,50 <sup>a</sup> ± 24,75  | 6,85          | 315,00 <sup>cd</sup> ± 18,38 | 5,84        | 46,50 <sup>d</sup> ± 6,36    | 13,69           | 1135,5 <sup>bc</sup> ± 57,27   | 5,05             | 820,50 <sup>abc</sup> ± 38,89  | 4,74  |
| 4        | 85,00 | 2,60    | 50,42 <sup>a</sup> ± 0,46 | 0,91          | 386,00 <sup>a</sup> ± 19,80  | 5,13          | 344,50 <sup>cd</sup> ± 17,68 | 5,13        | 41,50 <sup>d</sup> ± 2,12    | 5,11            | 1177,0 <sup>cd</sup> ± 130,11  | 11,05            | 832,50 <sup>abc</sup> ± 112,43 | 13,51 |
| 5        | 24,64 | 1,60    | 50,45 <sup>a</sup> ± 0,42 | 0,84          | 1334,00 <sup>a</sup> ± 90,51 | 6,78          | 803,00 <sup>a</sup> ± 84,85  | 10,57       | 531,00 <sup>a</sup> ± 5,66   | 1,07            | 1814,0 <sup>a</sup> ± 121,62   | 6,70             | 1011,00 <sup>ab</sup> ± 36,77  | 3,64  |
| 6        | 95,35 | 1,60    | 50,52 <sup>a</sup> ± 0,25 | 0,49          | 267,00 <sup>a</sup> ± 0,00   | 0,00          | 224,50 <sup>d</sup> ± 3,53   | 1,57        | 42,50 <sup>d</sup> ± 3,53    | 8,32            | 846,5 <sup>a</sup> ± 34,65     | 4,09             | 622,00 <sup>a</sup> ± 31,11    | 5,00  |
| 7        | 60,00 | 0,18    | 50,25 <sup>a</sup> ± 0,00 | 0,00          | 669,00 <sup>cd</sup> ± 9,90  | 1,48          | 469,00 <sup>cd</sup> ± 48,08 | 10,25       | 200,00 <sup>c</sup> ± 57,98  | 28,99           | 1292,0 <sup>bcd</sup> ± 107,48 | 8,32             | 823,00 <sup>abc</sup> ± 59,40  | 7,22  |
| 8        | 60,00 | 3,00    | 50,60 <sup>a</sup> ± 0,00 | 0,00          | 679,00 <sup>cd</sup> ± 48,08 | 7,08          | 534,00 <sup>bc</sup> ± 38,18 | 7,15        | 145,50 <sup>cd</sup> ± 9,90  | 6,83            | 1464,5 <sup>cd</sup> ± 94,04   | 6,42             | 930,50 <sup>bc</sup> ± 55,86   | 6,00  |
| 9        | 60,00 | 1,60    | 50,75 <sup>a</sup> ± 0,78 | 1,53          | 607,00 <sup>d</sup> ± 29,70  | 4,89          | 438,00 <sup>abc</sup> ± 8,48 | 1,94        | 169,00 <sup>c</sup> ± 38,18  | 22,59           | 1250,50 <sup>cd</sup> ± 21,92  | 1,75             | 812,50 <sup>bc</sup> ± 13,43   | 1,65  |
| 10       | 60,00 | 1,60    | 50,35 <sup>a</sup> ± 0,35 | 0,70          | 578,00 <sup>d</sup> ± 63,64  | 11,01         | 434,00 <sup>abc</sup> ± 4,24 | 0,98        | 144,00 <sup>cd</sup> ± 59,40 | 41,25           | 1249,50 <sup>cd</sup> ± 56,57  | 5,53             | 815,00 <sup>bc</sup> ± 52,32   | 6,42  |
| 11       | 60,00 | 1,60    | 51,15 <sup>a</sup> ± 1,41 | 2,76          | 794,00 <sup>a</sup> ± 26,87  | 3,38          | 570,50 <sup>bc</sup> ± 4,95  | 0,87        | 223,50 <sup>c</sup> ± 21,92  | 9,81            | 1478,50 <sup>bc</sup> ± 79,90  | 5,40             | 908,00 <sup>ab</sup> ± 74,95   | 8,25  |
| 12       | 60,00 | 1,60    | 55,90 <sup>a</sup> ± 0,43 | 11,51         | 666,50 <sup>cd</sup> ± 62,93 | 9,44          | 487,50 <sup>c</sup> ± 43,13  | 8,85        | 179,00 <sup>c</sup> ± 19,80  | 11,06           | 1352,50 <sup>cd</sup> ± 118,09 | 8,73             | 865,00 <sup>ab</sup> ± 74,95   | 8,67  |
| 9-12*    | 60,00 | 1,60    | 52,04 <sup>a</sup> ± 1,54 | 2,96          | 661,37 <sup>cd</sup> ± 13,96 | 2,11          | 482,50 <sup>cd</sup> ± 8,84  | 1,83        | 178,87 <sup>c</sup> ± 5,12   | 2,87            | 1332,60 <sup>cd</sup> ± 29,87  | 2,24             | 850,12 <sup>ab</sup> ± 21,04   | 2,47  |

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de duas determinações ± desvio padrão.

\* média entre as amostras de 9 a 12. FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura; Temp Pasta: temperatura de pasta; Visc Máx: viscosidade máxima; Visc Min: viscosidade mínima; Quebra: viscosidade máxima menos viscosidade mínima à temperatura constante; Visc Final: viscosidade final; Tend Retrog: tendência à retrogradação - viscosidade final menos viscosidade mínima à temperatura constante; cP: centipoise; CV: coeficiente de variação.

Figura 2 - Propriedades de pasta das misturas homogeneizadas de farinha de trigo e de substituto de gordura.



Legenda: 1 (35FI+0,6SUB), 2 (35FI+2,6SUB), 3 (85FI+0,6SUB), 4 (85FI+2,6SUB), 5 (24,64FI+1,6SUB), 6 (95,35FI+1,6SUB), 7 (60FI+0,18SUB), 8 (60FI+3SUB) e 9 (60FI+1,6SUB) são amostras de misturas de farinha de trigo, sendo 9 = 9 a 12.

Os coeficientes de variação (Tabela 7), para a maioria das medidas de propriedades de pasta analisadas, podem ser considerados baixos (< 10 %), ou seja, possuem alta precisão. As exceções foram para a análise de Quebra da amostra 3 e para as análises de Viscosidade final e Tendência à Retrogração da amostra 4, que apresentaram coeficientes de variação considerados médios, (de 10 a 20 %), com boa precisão, indicando que a repetição no tratamento dos dados possui

homogeneidade; e para análise de Quebra da amostra 7, que apresentou coeficiente de variação considerado alto (de 20 a 30 %), significando baixa precisão (PIMENTEL-GOMES, 2009).

A temperatura de pasta é aquela na qual a viscosidade da suspensão de amido em agitação começa a aumentar (SWINKELS, 1985), indicando a temperatura mínima requerida para cozinhar a amostra (LEON et al., 2010). Quando o amido é aquecido, em excesso de água, há perda de cristalinidade e de birrefringência (ATWELL, 2001). À medida que a temperatura aumenta, os grânulos de amido intumescem, havendo incremento da viscosidade (SWINKELS, 1985), em consequência ao rompimento das ligações de hidrogênio, ligação das moléculas de água aos grupos hidroxila (OLKKU; RHA, 1978) e/ou desordem molecular, ocorrendo assim, o processo de gelatinização (HOOVER, 2001), até a viscosidade de pasta alcançar um pico (SWINKELS, 1985).

Na Figura 2, em um primeiro momento, observando as propriedades de pasta entre as amostras analisadas, pode ser constatado que os valores de viscosidade de pasta diminuíram de acordo com o aumento do teor de farinha de trigo integral. E, em trabalho similar com farinha de trigo integral, compostos não amiláceos enfraqueceram sua resistência sob aquecimento e diminuíram a viscosidade (BAE et al., 2014).

Observando a Tabela 7 mais detalhadamente, pode ser constatado que as temperaturas de pasta das amostras variaram de 50,22 a 52,04 °C, não diferindo significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ); sugerindo, então, que as amostras apresentaram propriedades de gelatinização semelhantes, similar a estudo com comparação entre trigos (LEON et al., 2010). Assim, mesmo entre as amostras com teor de farinha de trigo integral iguais e teores de substituto de gordura diferentes (1 (35FI+0,6SUB) e 2 (35FI+2,6SUB); 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB); 7 (60FI+0,18SUB), 8 (60FI+3SUB) e 9-12\* (60FI+1,6SUB)), a viscosidade de pasta não diferiu significativamente.

A viscosidade máxima é atingida quando os grânulos de amido estão totalmente intumescidos, são eventualmente rompidos e há lixiviação de amilose e amilopectina, sendo esta etapa denominada de empastamento (ATWELL, 2001).

Os valores de viscosidade máxima variaram de 267,00 a 1334,00 cP, havendo aumento gradual e significativo desse valor à medida que diminuíram os teores de farinha de trigo integral nas misturas das amostras ( $p < 0,05$ ), o que está de acordo com a literatura. Segundo Ragaee

e Abdel-Aal (2006), o conteúdo maior de amido em farinha de trigo branca comparada à farinhas integrais, eleva o teor de viscosidade de pasta.

Nas amostras 1 e 2 com diferentes teores de substituto de gordura, 0,6 e 2,6, respectivamente, e mesmos teores de farinha de trigo integral, 35 %, observou-se diferença significativa entre os valores de viscosidade máxima, mostrando que o substituto de gordura interferiu nesse resultado.

Para viscosidade mínima foram obtidos valores de 224,50 a 805,00 cP, havendo aumento gradual desse valor à medida que diminuíram os teores de farinha de trigo integral nas misturas das amostras ( $p \leq 0,05$ ), não havendo repercussão dos diferentes teores de substituto de gordura entre as amostras com valores iguais e elevados ( $>60FI$ ) em farinha de trigo integral. Porém, nas amostras com baixos teores em farinha de trigo integral (35FI) e diferentes teores de substituto de gordura, observa-se que houve aumento da viscosidade mínima com o aumento do teor de substituto.

Os resultados de Quebra variaram de 41,50 a 531,00 cP, havendo aumento gradual desse valor à medida que diminuíram os teores de farinha de trigo integral nas misturas das amostras ( $p \leq 0,05$ ), não havendo também repercussão dos diferentes teores de substituto de gordura entre as amostras com valores iguais em farinha de trigo integral.

A viscosidade final indica a habilidade da farinha de formar pasta viscosa após cozimento e resfriamento (LEON et al., 2010).

A viscosidade final variou de 846,50 a 1599,00 cP, havendo aumento gradual desse valor à medida que diminuíram os teores de farinha de trigo integral nas misturas das amostras ( $p \leq 0,05$ ), e não havendo também repercussão dos diferentes teores de substituto de gordura entre as amostras com valores iguais em farinha de trigo integral.

Quando há o resfriamento, os grânulos de amido (amilose e amilopectina) podem se reassociar e formar nova estrutura cristalina ordenada (ATWELL, 2001), ocorrendo a retrogradação.

Com relação à tendência à retrogradação, nesse estudo, os valores variaram de 622,00 a 1038,50 cP, havendo aumento gradual desse valor à medida que diminuíram os teores de farinha de trigo integral nas misturas das amostras ( $p \leq 0,05$ ), não havendo também repercussão dos diferentes teores de substituto de gordura entre as amostras com valores iguais em farinha de trigo integral.

## 2.4 CONCLUSÃO

A análise de teor de glúten indica que o trigo usado no experimento é forte, tecnologicamente viável para ser aplicado à panificação e possui valores de índice de glúten dentro da faixa indicada para farinhas comerciais.

Tanto a análise de dextrose equivalente quanto a de microestrutura do amido estudado, mostraram que o substituto de gordura pode ser indicado à aplicação tecnológica na fabricação de pães integrais.

As fibras presentes na farinha integral interferiram, predominantemente, nos atributos da farinografia, alveografia, viscosidade e cor, proporcionalmente ao seu aumento nas misturas com farinha branca.

O efeito do substituto de gordura foi percebido somente nas amostras 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB), com alto teor de farinha integral. Nesse caso, o maior teor de substituto de gordura ocasionou diminuição da tenacidade e do trabalho mecânico, e aumento da luminosidade  $L^*$ . Isso indica que o substituto deixou a massa mais estável, com possibilidade de suportar mais tempo de fermentação e com tendência a ser branca, o que sugere a aplicação em pães integrais nesses teores, podendo ser elaborados com intuito de suprir parâmetros de qualidade saudáveis ao consumidor.

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro - TR 2012000008 (ANEXO A).

## REFERÊNCIAS

AACC American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of Analysis**, 10<sup>th</sup>, Ed. Approved November 8, 2000. AACC International, St Paul, MN, U.S.A.

ANDERSON, J. W.; BAIRD, P.; DAVIS Jr, R. H.; FERRARI, S.; KNUDTSON, M.; KORAYM, A.; WATERS, V.; WILLIAMS, C. Health benefits of dietary fiber. **Nutrition Reviews**, v. 67, n. 4, p. 188-205, 2009.

ATWELL, W. A. **Wheat flour**. Practical guides for the food industry. USA: American Association of cereal chemists, 2001. 134 p.

BAE, W.; LEE, B.; HOU, G. G.; LEE, S. Physicochemical characterization of whole-grain wheat flour in a frozen dough system for bake off technology. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 50-55, 2014.

BLAZEK, J.; GILBERT, E. P. Effect of enzymatic hydrolysis on native starch granule structure. **Biomacromolecules**, v. 11, p. 3275-3289, 2010.

BOCKSTAELE, F. V.; LEYN, I. D.; EECKHOUT, M.; DEWETTINCK, K. Rheological properties of wheat flour dough and their relationship with bread volume. II. Dynamic oscillation measurements. **Cereal Chemistry**, v. 85, n. 6, p. 762-768, 2008.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para fins especiais: dietéticos**. São Paulo: Varela, 1996, p. 259-330.

CAUVAIN, S. P. **Breadmaking – improving quality**. England: Woodhead Publishing Limited. 2012. p. 802.

CHEN, G.; ZHANG, B. Hydrolysis of granular corn starch with controlled pore size. **Journal of Cereal Science**, v. 56, p. 316–320, 2012.

CHIN, N. L.; RAHMAN, R. A.; HASHIM, D. M.; KOWNG, S. Y. Palm oil shortening effects on baking performance of white bread. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, p. 413–433, 2010.

CONCEREAL. **Consultores cerealistas**, 2014. Disponível em

<<http://www.concereal.es/alveografo>> Acessado em 25 de março de 2014.

DEWETTINCK, K.; BOCKSTAELE, F. V.; KÜHNE, B.; VAN DE WALLE, D.; COURTENS, T. M.; GELLYNCK, X. Nutritional value of bread: influence of processing, food interaction and consumer perception. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 243-257, 2008.

EL-PORAI, E. S.; SALAMA, A. E.; SHARAF, A. M.; HEGAZY, A. I.; GADALLAH, M. G. E. Effect of different milling processes on Egyptian wheat flour properties and pan bread quality. **Annals of Agricultural Science**, v. 58, n. 1, p. 51-59, 2013.

FISHER, R. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. **Trans Royal Society of Edimburg**, v. 52, p. 399-433, 1918.

FDA. Food and Drug Administration. **Nutrition labeling and education requirements**, 2010. Disponível em <<http://www.fda.gov/ICECI/Inspections/InspectionGuides/ucm114092.htm>> Acessado em 10 de abril de 2013.

GHOTRA, B. S.; DYAL, S. D.; NARINE, S. S. Lipid shortenings: a review. **Food Research International**, v. 35, p. 1015-1048, 2002.

GÓMEZ, M.; RONDA, F.; BLANCO, C. A.; CABALLERO, P. A.; APESTEGUÍA, A. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. **European Food Research and Technology**, n. 216, p. 51-56, 2003.

GONZÁLES, R. J.; OSELLA, C. A.; DESTEFANI, E. Relazione tra il contenuto proteico ed il glutine umido e secco nei frumenti commercilai. *Tecnica molitoria* – Relationship between protein content and dry and wet gluten in commercial wheats. **Tecnica Molitoria**, n. 2, p. 137-139, fevereiro/1998.

HADNADEV, T. D.; PAJIC-LIJAKOVIC, I.; HADNADEV, M.; MASTILOVIC, J.; TORBICA, A.; BUGARSKI. Influence of starch sodium octenyl succinate on rheological behaviour of wheat flour dough systems. **Food Hydrocolloids**, v. 33, p. 376-383, 2013.

HIDALGO, A.; BRANDOLINI, A. Protein, ash, lutein and tocols distribution in einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) seed fractions. **Food Chemistry**, v. 107, p. 444–448, 2008.

HIDALGO, A.; FONGARO, L.; BRANDOLINI, A. Wheat flour granulometry determines colour perception. **Food Research International**, v. 64, p. 363-370, 2014.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, p. 253-267, 2001.

KHATOON, S.; SREERAMA, Y. N.; RAGHAVENDRA, D.; BHATTACHARYA, S.; BHAT, K. K. Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starches. **Food Research International**, v. 42, p. 1426-1433, 2009.

LAI, C. S.; HOSENEY, R. C.; DAVIS, A. B. Effects of wheat bran in breadmaking. **Cereal Chemistry**, v. 66, n. 4, p. 217-219, 1989.

LEON, E.; PISTON, F.; AOUNI, R.; SHEWRY, P. R.; ROSELL, C. M.; MARTIN, A.; BARRO, F. Pasting properties of transgenic lines of a commercial bread wheat expressing combinations of HMW glutenin subunit genes. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 344-349, 2010.

LI, M.; ZHANG, J. H.; ZHU, K. X.; PENG, W.; ZHANG, S. K.; WANG, B. Effect of superfine green tea powder on the thermodynamic, rheological and fresh noodle making properties of wheat flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 23-28, 2012.

LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 207-219, 2007.

MA, Y.; CAI, C.; WANG, J.; SUN, D. Enzymatic hydrolysis of corn starch for producing fat mimetics. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 297-303, 2006.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, p. 426-431, 1959.

MIYAZAKI, M.; HUNG, P. V.; MAEDA, T.; MORITA, N. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, p. 591-599, 2006.

MONTENEGRO, F. M.; ORMENESE, R. C. S. C. **Avaliação da Qualidade Tecnológica da Farinha de Trigo**. Campinas: Cereal Chocotec ITAL, 2008. 62 p.

MORITA, N.; MAEDA, T.; MIYAZAKI, M.; YAMAMORI, M.; MIURA, H.; OHTSUKA, I. Dough and baking properties of high-amylose and waxy wheat flours. **Cereal Chemistry**, v. 79, p. 491-495, 2002

MUCCILLO, R. C. S. T. **Caracterização e avaliação de amido nativo e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas**. 2009. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

MUN, S.; SHIN, M. Mild hydrolysis of resistant starch from maize. **Food Chemistry**. v. 96, p. 115-121, 2006.

NIU, M.; HOU, G.; LEE, B.; CHEN, Z. Effects of fine grinding of millfeeds on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and its raw noodle products. **LWT – Food Science and Technology**, v. 57 p. 58-64, 2014.

NONAKA, H. H. Plant carbohydrate-derived products as fat replacers and calorie reducers. **Cereal Foods World**, v. 42, p. 377-378, 1997.

NOORT, M. W. J.; HAASTER, D. V.; HEMERY, Y.; SCHOLS, H. A.; HAMER, R. J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – Evidence for fibre – protein interactions. **Journal of Cereal Science**, v. 52, p. 59-64, 2010.

O'CONNOR, A. An overview of the role of bread in the UK diet. **Nutrition Bulletin**, v. 37, p. 193–212, 2012.

OLKKU, J.; RHA, C. Gelatinisation of starch and wheat flour starch – a review. **Food Chemistry**, v. 3, p. 293-317, 1978.

ORO, T. **Adaptação de Métodos para Avaliação da Qualidade Tecnológica de Farinha de Trigo Integral**. 2013. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ORTIZ, D. E.; LAFOND, D. W. Physicochemical properties of wheat bran and related application challenges. In: CHO, S. S.; ALMEIDA, N. **Dietary fiber and health**. Boca Raton: CRC Press. 2012. p. 369-384.

PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 190-201, 2009.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

RAGAEI, S.; ABDEL-AAL, E. M. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95, p. 9-18, 2006.

ROSELL, C. M.; ROJAS, J. A.; BENEDITO DE BARBER, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**. v. 15, p. 75-81, 2001.

SETSER, C. S.; RACETTE, W. L. Macromolecule replacers in food products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 3, p. 275-297, 1992.

SEYER, M.; GÉLINAS, P. Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. **Food Science and Technology**, v. 64, p. 688-693, 2009.

SKENDI, A.; BILIADERIS, C. G.; PAPAGEORGIOU, M.; IZYDORCZYK, M. S. Effects of two barley  $\beta$ -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1159-1167, 2010.

SUDHA, M. L.; VETRIMANI, R.; LEELAVATHI, K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. **Food Chemistry**, v. 100, p. 1365-1370,

2007.

SWINKELS, J. J. M. Composition and properties of commercial native starches. **Stärke**, v. 37, n. 1, p. 1-5, 1985.

UTHUMPORN, U.; SHARIFFA, Y. N.; KARIM, A. A. Hydrolysis of native and heat-treated starches at sub-gelationization temperature using granular starch hydrolyzing enzyme. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 166, p. 1167-1182, 2012.

UTHUMPORN, U.; ZAIDUL, I. S. M.; KARIM, A. A. Hydrolysis of granular starch at sub-gelationization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, p. 47-54, 2010.

VAN HUNG, P.; MAEDA, T.; MORITA, N. Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution. **Food Research International**, v. 40, p. 273-279, 2007.

VANDERVEEN, J. E.; GLINSMANN, W. H. Fat substitutes: a regulatory perspective. **Annual Reviews of Nutrition**, v. 12, p. 473-487, 1992.

VÁZQUEZ, D. **Aptitud industrial de trigo**. Montevideo. Uruguay: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA La Estanzuela, 2009. 46 p.

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, p. 221-226, 2002.

WOODS, L. F. J.; SWINTON, S. J. Enzymes in the starch and sugar industries. In: TUCKER, G. A.; WOODS, L. F. J. **Enzymes in food processing**. Springer Science and Business Media. 1995. p. 250-267.

### CAPÍTULO 3

## **EFEITO DOS NÍVEIS DE FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E DE SUBSTITUTO DE GORDURA NA QUALIDADE DO PÃO UTILIZANDO METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA**

Parte deste trabalho foi apresentado oralmente no *Latin American Cereal Conference Brazil 2015*, Curitiba, Abril de 2015 (APÊNDICE B).

**EFEITO DOS NÍVEIS DE FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E DE SUBSTITUTO DE GORDURA NA QUALIDADE DO PÃO UTILIZANDO METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA**

**RESUMO**

O pão é um dos principais componentes da dieta humana, podendo ser um veículo para aumentar a ingestão de fibras e diminuir o consumo de gordura. O volume específico é uma das características visuais mais importantes dos pães, influenciando a escolha dos consumidores, por isso, contribui na avaliação de qualidade, juntamente com a firmeza. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo verificar o efeito de diferentes teores de farinha de trigo integral e de substituto de gordura (amido de milho modificado enzimaticamente) nos parâmetros de qualidade de pães elaborados em escala piloto. A análise granulométrica das misturas de farinhas e amido, mostrou tamanho de partícula desuniforme e a análise físico-química mostrou que os pães com maiores teores de farinha de trigo integral apresentaram elevados teores em fibra insolúvel, lipídeos, cinza e proteína. Foram encontrados e validados modelos matemáticos para volume específico e firmeza, a partir de Metodologia de Superfície de Resposta. A partir do ajuste do modelo, os resultados mostraram efeito linear significativo para o volume específico e para firmeza, havendo tendência inversa entre ambos; e, que os valores preditos e experimentais encontrados foram muito próximos.

**Palavras-chave:** Volume específico. Firmeza. Pão de trigo integral.

**RESPONSE SURFACE METHODOLOGY ASSESSMENT OF  
THE EFFECT OF WHOLE WHEAT FLOUR AND FAT  
REPLACER LEVELS ON BREAD QUALITY**

**ABSTRACT**

Bread is a staple of the human diet, and can be used as a vehicle to increase dietary fiber intake and decrease fat intake. Specific volume is one of the most important visual characteristics of breads that influence consumer choice, and, alongside hardness, contributes to quality assessment. Thus, this study aims to evaluate the effect of different amounts of whole-wheat flour and fat replacer (enzymatically modified corn starch) on quality parameters of breads produced on a pilot scale. Particle size analysis of flour and starch mixtures revealed uneven particle size, and physical-chemical analysis showed that bread containing higher levels of whole-wheat flour had high insoluble fiber, fat, ash, and protein content. Mathematical models were for specific volume and hardness were obtained and validated through response surface methodology. Model fit results showed a significant linear effect both for specific volume and for hardness, with an inverse trend between these parameters. Predicted values were very close to those obtained experimentally.

**Keywords:** Specific volume. Hardness. Whole-wheat bread.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O trigo é caracterizado como a maior *commodity* primária, com produção anual aproximada de 711 milhões de toneladas (FAO, 2015), sendo usado principalmente na forma de farinha de trigo branca e integral.

Segundo *Whole Grains Council* (2014), a farinha de trigo integral é caracterizada por apresentar granulometria homogênea e manter as proporções originais das frações presentes no grão em sua totalidade (endosperma, germe e farelo).

A farinha de trigo integral é cada vez mais consumida, uma vez que é uma prática sustentável ao reduzir a produção do farelo de trigo, subproduto da farinha de trigo branca, seja para uso animal (FAO, 2014); seja pela crescente variedade de produtos saudáveis, com elevado conteúdo de fibras e constituintes bioativos/funcionais, ofertados pela indústria de alimentos aos consumidores (EFSA, 2010) ou pelos benefícios relacionados à ingestão de farinha de trigo integral (DOBLADO-MALDONADO et al., 2012), a qual contém substancialmente mais vitaminas, minerais, antioxidantes e outros nutrientes do que a farinha de trigo branca, uma vez que esses compostos estão concentrados nas porções exteriores do grão (WEAVER, 2001).

A presença do farelo na farinha de trigo, compondo a farinha de trigo integral, possui efeitos adversos na qualidade dos pães (volume e firmeza) (ROSELL; SANTOS, 2010; CURTI et al., 2013), dependendo da composição (NOORT et al., 2010) e do tamanho da partícula (NIU et al., 2014), podendo então ocasionar redução do volume, aumento da firmeza do miolo e mudança do sabor (LAURIKAINEN et al., 1998). Estudos mostram que, durante o processo de elaboração de pães, as frações da fibra afetam negativamente a formação e as propriedades físicas da rede de glúten, a partir da combinação de mecanismos físico e químico. Fisicamente ocorre quando o aumento superficial da partícula ocasiona mais interações com os componentes reativos do glúten, como, monômeros de ácido ferúlico ligados à parede celular, interagindo com proteínas. E, quimicamente, ocorre quando componentes da camada de aleurona (monômetro de ácido ferúlico, glutatona e fitato) interagem com as proteínas do glúten (NOORT et al., 2010).

Produtos de panificação são consumidos diariamente, em larga escala, e proveem um meio conveniente de ingerir fibras e outros compostos saudáveis à dieta (KTENIOUDAKI; GALLAGHER, 2012). Entretanto, a aceitação do público por produtos com trigo integral é limitada, devido a aspectos sensoriais e de textura (GAN et al., 1992),

como, sabor amargo, volume reduzido e alta firmeza (KTENIOUDAKI; GALLAGHER, 2012), o que gera necessidade de esforços tecnológicos, a fim de melhorar o desempenho de produtos com farinha de trigo integral (LIU et al., 2015).

Adicionalmente, há crescente demanda por produtos saudáveis e com reduzidos teores de gordura, o que incentiva o uso dos substitutos de gordura, como por exemplo, os derivados de amidos, que oferecem parâmetros de qualidade similares aos produtos elaborados com gordura (ABBAS et al., 2010). Assim, dieta e estilo de vida podem ser modificados para prevenir e reduzir os riscos de doenças crônicas (SHAHIDI, 2009), como diabetes, problemas cardiovasculares e obesidade mórbida (STEVENSON et al., 2012). Evidências epidemiológicas indicam que as dietas, que promovem saúde, são ricas em fibras e pobres em gordura saturada, gordura trans e colesterol (HU, 2002).

Neste contexto, os derivados de amidos podem ser indicados como substitutos de gordura, também para pães, pelo fato de: não mascararem outros sabores e aromas (GLUECK et al., 1994); conferirem a mesma textura e sensação na boca, que as gorduras; absorverem e reterem água no produto; serem similares às gorduras, em tamanho e massa molecular (ALEXANDER, 1995); terem características físicas que imitam a gordura, porém com redução ou isenção de calorias (VANDERVEEN; GLINSMANN, 1992).

A massa de um pão pode ser considerada um sistema. E, uma forma usada para avaliar a significância relativa de um sistema, afetado por vários fatores, mesmo na presença de interação complexa, é a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), caracterizada como uma técnica em que os dados obtidos são tratados por análise de regressão múltipla, desenvolvendo e ajustando modelos matemáticos com equações multivariadas simultaneamente (MONTGOMERY, 1991).

Desta forma, esse estudo teve o objetivo de pesquisar o impacto de diferentes níveis de farinha de trigo integral e de substituto de gordura nos parâmetros de qualidade de pães (volume específico e firmeza) elaborados em escala piloto (padaria comercial), empregando Metodologia de Superfície de Resposta, bem como validar os modelos matemáticos encontrados.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 MATERIAL

O estudo foi realizado com amostras comerciais de farinha de trigo integral (FI – proveniente do grão de trigo moído inteiro) e branca (FB), obtidas a partir do mesmo lote de trigo, da safra 2012, cedidas pela Cooperativa Agrária Agroindustrial, de Guarapuava, Paraná – Brasil. A farinha integral é composta por todas as partes do grão, possui granulometria desuniforme e foi produzida através de passagem por moinho de pedra, seguido de moinho de rolo. As amostras foram estocadas a -18 °C, até o momento das análises. Visando favorecer a uniformização e o estudo das variáveis dependentes ou respostas, foram empregadas uma amostra representativa de cada tipo de farinha (FI e FB).

Amido de milho modificado por conversão enzimática, seguindo as orientações do fabricante, indicado comercialmente para a elaboração de pães foi usado como substituto de gordura (SUB), sendo cedido pela *Dutch Starches International* – DSI, Holanda, com nome comercial Selectamylx C150.

### 3.2.2 MÉTODOS

#### 3.2.2.1 Elaboração dos pães

Para elaboração dos pães foram preparadas misturas de farinha de trigo integral (FI) e farinha de trigo branca (FB), sendo as amostras codificadas de acordo com o percentual utilizado: 95,35FI (95,35FI+4,65FB); 85FI (85FI+15FB); 60FI (60FI+40FB); 35FI (35FI+65FB); 24,64FI (24,64FI+75,36FB), conforme delineamento experimental da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR).

Os pães foram elaborados em escala piloto, com escolha aleatória da amostra, em duas determinações, seguindo o método nº 10-10B, de panificação direta (AACC, 2000), escolhido pela praticidade no tempo do processo. As massas foram fermentadas por 60 minutos, empregando a seguinte fórmula padrão: farinha de trigo (100 %), açúcar (6 %), fermento biológico instantâneo (1,8 %), cloreto de sódio (1,5 %), gordura (3 %) e água potável (FLANDER et al., 2007). No lugar da gordura indicada pelo

método, foi utilizado substituto de gordura. A quantidade de água adicionada em cada formulação foi de 86 % do valor de absorção de água da farinha de trigo da análise farinográfica, com metodologia adaptada a partir de Seyer e Gélinas (2009). Os ingredientes foram misturados em masseira de velocidade rápida (Líder, Modelo RPD 25, Curitiba, Brasil) durante 6 minutos (FLANDER et al., 2007; ORO, 2013). A temperatura da massa após o batimento foi de 28 a 29 °C. O crescimento de porções de 500 gramas de massa crua, aconteceu em câmara de fermentação (Perfecta, Modelo CFC20, Curitiba, Brasil) a  $30 \pm 1$  °C, 85 % de umidade relativa, durante 35 minutos. A massa foi laminada manualmente com rolo, duas vezes e colocada para fermentar durante 17 minutos, e a seguir por mais 8 minutos. Logo após, as massas dos pães foram modeladas em formato rocambole, colocadas em forma retangular de alumínio forrada com papel manteiga (9,5 cm x 20 cm x 4,5 cm) e fermentadas durante 24 minutos. Os pães foram assados em forno elétrico (Líder, Modelo Ventile, Curitiba, Brasil) a 180 °C, durante 24 minutos e resfriados durante 1 hora sob grades metálicas à temperatura ambiente.

### 3.2.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido conforme Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com dois fatores (variáveis independentes), % de farinha de trigo integral (FI) e % de substituto de gordura (SUB).

O DCCR totalizou 14 experimentos, sendo: 4 tratamentos fatoriais completos  $2^2$ , cada experimento com dois níveis, codificados como -1 e +1; 4 tratamentos axiais codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ , onde  $\alpha = (2^2)^{1/4} = 1,414$ ; 1 tratamento no ponto central repetido seis vezes, para estimar o erro puro ou experimental (serve também para calcular a reprodutibilidade do método, neste todos os fatores estão codificados como zero).

Os níveis das variáveis têm seus valores mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação do delineamento experimental

| Variáveis | Níveis    |       |       |       |           |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-----------|
|           | $-\alpha$ | -1    | 0     | +1    | $+\alpha$ |
| x         | 24,64     | 35,00 | 60,00 | 85,00 | 95,35     |
| y         | 0,18      | 0,60  | 1,60  | 2,60  | 3,00      |

x: FI (farinha de trigo integral); y: SUB (substituto de gordura).

Na Tabela 2 é apresentado o delineamento experimental para as variáveis FI e SUB, com valores codificados e reais.

Tabela 2 - Delineamento experimental para as duas variáveis independentes

| Experimentos | tratamentos | variáveis independentes |            |                  |            |
|--------------|-------------|-------------------------|------------|------------------|------------|
|              |             | valor codificado        | valor real | valor codificado | valor real |
|              |             | x                       | FI         | y                | SUB        |
| 1            | Fatoriais   | 35,00                   | -1         | 0,60             | -1         |
| 2            |             | 35,00                   | -1         | 2,60             | +1         |
| 3            |             | 85,00                   | +1         | 0,60             | -1         |
| 4            |             | 85,00                   | +1         | 2,60             | +1         |
| 5            | Axiais      | 24,64                   | $-\alpha$  | 1,60             | 0          |
| 6            |             | 95,35                   | $+\alpha$  | 1,60             | 0          |
| 7            |             | 60,00                   | 0          | 0,18             | $-\alpha$  |
| 8            |             | 60,00                   | 0          | 3,00             | $+\alpha$  |
| 9            | Centrais    | 60,00                   | 0          | 1,60             | 0          |
| 10           |             | 60,00                   | 0          | 1,60             | 0          |
| 11           |             | 60,00                   | 0          | 1,60             | 0          |
| 12           |             | 60,00                   | 0          | 1,60             | 0          |
| 13           |             | 60,00                   | 0          | 1,60             | 0          |
| 14           |             | 60,00                   | 0          | 1,60             | 0          |

FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura.

### **3.2.2.3 Análises físico-químicas**

#### **3.2.2.3.1 Granulometria**

A granulometria caracteriza os diferentes tamanhos de partículas, que irão repercutir no volume e na dureza dos pães.

A análise granulométrica das mesclas homogeneizadas de farinha de trigo (FI e FB) e do substituto de gordura (SUB) foi realizada, em três determinações, baseada no método nº 66-20 (AACC, 2000), com adaptações. Foi usado conjunto de peneiras (30, 40, 60, 80 e 100 mesh, com aberturas de malhas de 600, 425, 250, 180 e 150  $\mu\text{m}$ , respectivamente) acopladas a suporte vibratório (modelo D-55743, Fritsch, Alemanha), inserindo 3 bolinhas metálicas em cada peneira, sendo o peneiramento realizado por 5 minutos.

Dos 14 ensaios realizados, 6 foram repetições do ponto central, sendo analisadas 9 diferentes mesclas de farinha para pães com 4 repetições do ponto central, totalizando 12 amostras no total. Foi adotado delineamento bloco ortogonal (FISHER, 1918), que tem o propósito de eliminar o efeito da heterogeneidade presente nas unidades experimentais sobre a comparação dos tratamentos. Esse método propõe que sejam feitos grupos de parcelas homogêneas (blocos), os quais recebem, cada um, uma repetição de todos os tratamentos.

#### **3.2.2.3.2 Composição físico-química**

A determinação da composição físico-química, das amostras de pães elaborados, foi realizada em duplicata, seguindo métodos oficiais da *American Association of Cereal Chemists* (AACC, 2000). O teor de umidade foi determinado por secagem em estufa (método nº 44-15A). O teor de proteína foi determinado pelo método de Kjeldahl (método nº 46-10). Os lipídeos foram extraídos pelo método de Soxhlet (método nº 30-25). O teor de cinza foi determinado por incineração em mufla (método nº 08-01). As fibras alimentares solúvel e insolúvel (método nº 32-07) e amido total (método nº 76-13) foram analisadas através de *kits* enzimáticos (marca Megazyme International Ireland, Bray, Irlanda).

### **3.2.2.4 Avaliação da qualidade dos pães**

#### **3.2.2.4.1 Volume específico**

A análise de volume e o cálculo do volume específico dos pães elaborados foram realizados em quadruplicata.

O volume dos pães elaborados foi analisado seguindo o método nº 10-05 (AACC, 2000), porém, utilizando o deslocamento de sementes de gergelim, ao invés de sementes de painço (KITTISUBAN et al., 2014). O volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) foi calculado baseando-se no peso médio dos pães com aproximadamente 30 gramas de massa crua (APLEVICZ, 2013).

O volume dos pães foi medido em recipiente com volume conhecido (VC). O recipiente foi coberto com as sementes, o pão foi removido e o volume de sementes anotado (VR). O volume do pão (VL) [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ] foi calculado seguindo a Equação 1.

$$VL = VC - VR \quad (1)$$

Os pães foram medidos e pesados (P) em escala digital (g). O volume específico (VE) [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ] do pão foi calculado seguindo a Equação 2.

$$VE = VL/P \quad (2)$$

#### 3.2.2.4.2 Firmeza

Firmeza (ou dureza) é a força necessária para obter uma dada deformação (SZCZESNIAK, 2002).

A análise de firmeza, é um dos parâmetros do perfil de textura (TPA – *Texture Profile Analysis*) e foi determinada seguindo método nº 74-09 (AACC, 2000), empregando texturômetro (TA.HD Plus, Stable Micro Systems, Surrey, UK), com célula de carga de 50 kg, sonda cilíndrica de alumínio de 36 mm de diâmetro, 40 % de penetração (distância de 10mm) e velocidade de 2 mm/s (ORO, 2013). As amostras de miolo dos pães foram cortadas em forma de cubo, com 25 mm de aresta (ULZIJARGAL et al., 2013), sendo a análise de firmeza realizada em quatro determinações.

#### 3.2.2.5 Análise estatística dos resultados

Para análise do efeito combinado das variáveis independentes, FI e SUB, nas respostas avaliadas, foi empregado o Método de Superfície de Resposta (MSR).

O modelo de regressão de segunda ordem é representado pela Equação 3 (MONTGOMERY, 1991).

$$z = b_0 + b_1x + b_{11}x^2 + b_2y + b_{22}y^2 + b_{12}xy + \text{Erro} \quad (3)$$

Onde:  $z$  = resultado estimado para as variáveis resposta: volume específico e firmeza;  $x$  = % FI;  $y$  = % SUB;  $b_0, b_1, b_{11}, b_2, b_{22}, b_{12}$  = coeficientes da equação de regressão.

O modelo ideal deve ter: boa significância ( $p \leq 0,05$ ), alta confiabilidade (dados dentro do intervalo de confiança de 95 %, ou seja, resíduo irrelevante) e baixa variabilidade ( $R^2 \geq 70$  % e  $CV \leq 20$  %).

As variáveis dependentes ou respostas consideradas foram: volume específico e firmeza.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste paramétrico, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Para a análise estatística foi utilizado o programa Statistica 7.0<sup>®</sup>.

Validação dos resultados obtidos pela análise por MSR

Como forma de validar o modelo matemático obtido com a MSR, foi escolhida aleatoriamente uma formulação de pão (50,00FI+1,50SUB) pertencente aos intervalos estudados no delineamento experimental.

Os valores preditos pelo modelo ajustado e os valores experimentais obtidos foram comparados e a partir da Equação 4, calculados os erros (%), de forma a determinar a validade do modelo (SKARA et al., 2013).

$$\text{Erro percentual} = \frac{\text{experimental} - \text{predito}}{\text{experimental}} * 100 \quad (4)$$

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

##### 3.3.1.1 Granulometria

A Tabela 3 apresenta a análise granulométrica das mesclas contendo diferentes porcentagens de farinhas e do substituto de gordura

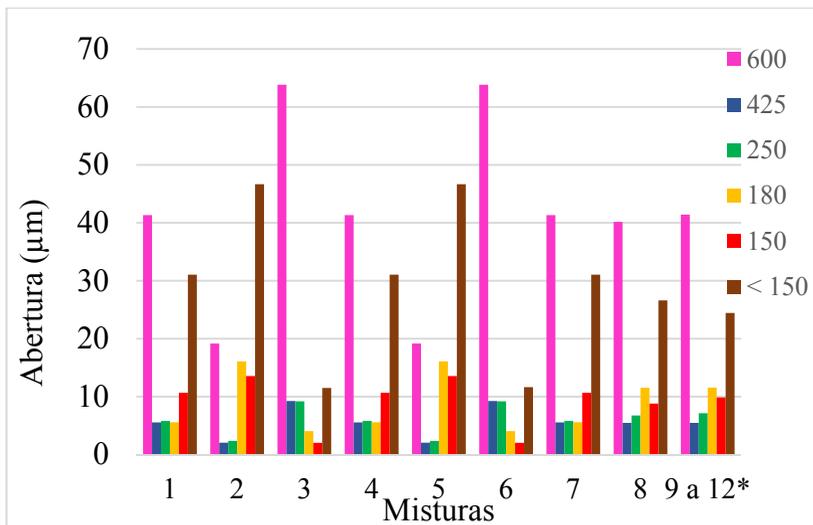
(amido).

Tabela 3 - Granulometria das misturas de farinhas e substituto de gordura

| Ensaio              | Mesclas |         | Tyler/Mesh    |      |      |       |       |       |
|---------------------|---------|---------|---------------|------|------|-------|-------|-------|
|                     | FI (%)  | SUB (%) | 30            | 40   | 60   | 80    | 100   | Fundo |
|                     |         |         | Abertura (µm) |      |      |       |       |       |
|                     |         |         | 600           | 425  | 250  | 180   | 150   | < 150 |
| Material retido (%) |         |         |               |      |      |       |       |       |
| 1                   | 35,00   | 0,60    | 41,34         | 5,58 | 5,83 | 5,60  | 10,69 | 31,08 |
| 2                   | 35,00   | 2,60    | 19,19         | 2,06 | 2,38 | 16,09 | 13,57 | 46,68 |
| 3                   | 85,00   | 0,60    | 63,86         | 9,27 | 9,20 | 4,06  | 2,05  | 11,50 |
| 4                   | 85,00   | 2,60    | 41,34         | 5,58 | 5,83 | 5,60  | 10,69 | 31,08 |
| 5                   | 24,64   | 1,60    | 19,19         | 2,06 | 2,38 | 16,09 | 13,57 | 46,68 |
| 6                   | 95,35   | 1,60    | 63,86         | 9,27 | 9,20 | 4,06  | 2,05  | 11,65 |
| 7                   | 60,00   | 0,18    | 41,34         | 5,58 | 5,83 | 5,60  | 10,69 | 31,08 |
| 8                   | 60,00   | 3,00    | 40,17         | 5,49 | 6,77 | 11,53 | 8,83  | 26,63 |
| 9                   | 60,00   | 1,60    | 39,87         | 6,02 | 8,39 | 12,76 | 9,40  | 23,73 |
| 10                  | 60,00   | 1,60    | 41,41         | 5,37 | 7,37 | 11,31 | 11,14 | 23,19 |
| 11                  | 60,00   | 1,60    | 42,29         | 5,49 | 6,97 | 12,12 | 8,02  | 25,08 |
| 12                  | 60,00   | 1,60    | 42,19         | 5,00 | 5,82 | 10,11 | 10,88 | 25,85 |
| 9-12*               | 60,00   | 1,60    | 41,44         | 5,47 | 7,14 | 11,57 | 9,86  | 24,46 |

Resultados expressos como média de três determinações. \* média dos pães de 9 a 12.

Figura 1 - Granulometria das misturas de farinhas e substituto de gordura.



A amostra do pão 9-12\* representa a média entre as amostras dos pães de 9 a 12.

A partir dos resultados de granulometria das misturas de farinhas (integral e branca) com o substituto de gordura (Tabela 3 e Figura 1), pode-se constatar que, à medida que aumentou o teor de farinha de trigo integral, aumentou também o percentual de amostra retida com tamanho maior de partícula (peneira de 600 µm), o que pode ser observado, nas amostras 3 (85FI+0,6SUB), 4 (85FI+2,6SUB) e 6 (95,35FI+1,6SUB), com retenção de 63,86, 41,34 e 63,86 % de partículas, respectivamente. Esse resultado está condizente com Oro (2013), em estudo com mesclas de farinha de trigo integral e branca, em que o tamanho da partícula aumentou de acordo com o aumento do conteúdo de farinha de trigo integral devido, principalmente, à presença de fragmentos derivados das camadas externas do grão. E, para fins de comparação com os resultados obtidos nesse estudo, cabe registrar, que segundo os limites máximos de tolerância para farinha de trigo branca, na legislação brasileira, 95 % do produto deve passar pela peneira com abertura de malha de 250 µm (BRASIL, 2005). Ou seja, a farinha de trigo integral, objeto desse estudo, possui granulometria bem maior do que exigido pela legislação para

farinha de trigo branca.

Segundo Curti e colaboradores (2013), a presença das frações externas do grão na farinha de trigo afeta as propriedades do pão, principalmente, pela diluição da matriz glúten-amido, por parte de componentes que não fazem parte do endosperma (GAN et al., 1992). As frações externas do grão (pericarpo e germe) agem na massa através de diferentes composições, resultando em pães menores e mais duros; e através de diferentes tamanhos de partículas, que repercutem no volume e na dureza.

Por outro lado, à medida que diminuíram os teores de farinha de trigo integral, e aumentaram os teores de substituto de gordura, foi constatado que aumentou também o percentual de amostra retida com tamanho menor de partícula (peneira < 150  $\mu\text{m}$ ), como observado, entre as amostras 1 (35FI+0,6SUB) e 2 (35FI+2,6SUB), com retenções respectivas de 31,08 e 46,68 % de partículas, e 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB), com 11,50 e 31,08 % de partículas retidas respectivamente, provavelmente pelo substituto de gordura ter ficado retido no fundo das peneiras granulométricas. O substituto de gordura usado foi um amido de milho modificado enzimaticamente, o que justifica a passagem através das peneiras, tendo ficado retido no fundo das peneiras granulométricas, já que segundo Chen e Zhang (2012) e Ma e colaboradores (2006), a hidrólise enzimática faz com que o grânulo de amido nativo diminua de tamanho.

### **3.3.1.2 Composição físico-química**

A Tabela 4 mostra a análise de composição físico-química dos pães.

Tabela 4 - Análise composição físico-química dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura

| Pães  | FI (%) | SUB (%) | Amido total (%)            | Proteína (%)                 | Cinza (%)                 | Lípidos (%)                 | Fibra solúvel (%)         | Fibra insolúvel (%)         |
|-------|--------|---------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1     | 35,00  | 0,60    | 57,72 <sup>ab</sup> ± 3,80 | 12,95 <sup>e</sup> ± 0,23    | 2,14 <sup>d</sup> ± 0,07  | 0,10 <sup>e</sup> ± 0,00    | 1,50 <sup>b</sup> ± 0,17  | 4,54 <sup>cde</sup> ± 0,09  |
| 2     | 35,00  | 2,60    | 58,40 <sup>ab</sup> ± 0,81 | 12,57 <sup>e</sup> ± 0,23    | 2,18 <sup>d</sup> ± 0,01  | 0,07 <sup>e</sup> ± 0,00    | 1,53 <sup>b</sup> ± 0,11  | 3,90 <sup>def</sup> ± 0,01  |
| 3     | 85,00  | 0,60    | 54,33 <sup>b</sup> ± 1,10  | 14,49 <sup>abcd</sup> ± 0,23 | 2,50 <sup>ab</sup> ± 0,00 | 0,44 <sup>bcd</sup> ± 0,02  | 1,43 <sup>b</sup> ± 0,39  | 5,01 <sup>bcd</sup> ± 0,28  |
| 4     | 85,00  | 2,60    | 54,03 <sup>b</sup> ± 0,49  | 14,26 <sup>cde</sup> ± 0,23  | 2,45 <sup>bc</sup> ± 0,03 | 0,38 <sup>cd</sup> ± 0,03   | 1,24 <sup>b</sup> ± 0,00  | 6,29 <sup>a</sup> ± 0,04    |
| 5     | 24,64  | 1,60    | 61,46 <sup>a</sup> ± 1,82  | 12,56 <sup>e</sup> ± 0,23    | 2,13 <sup>d</sup> ± 0,00  | 0,16 <sup>e</sup> ± 0,00    | 1,51 <sup>b</sup> ± 0,14  | 2,81 <sup>f</sup> ± 0,12    |
| 6     | 95,35  | 1,60    | 55,14 <sup>ab</sup> ± 1,48 | 14,71 <sup>a</sup> ± 0,23    | 2,61 <sup>a</sup> ± 0,06  | 0,45 <sup>abcd</sup> ± 0,01 | 1,41 <sup>b</sup> ± 0,11  | 5,88 <sup>ab</sup> ± 1,04   |
| 7     | 60,00  | 0,18    | 60,48 <sup>ab</sup> ± 0,26 | 14,55 <sup>abc</sup> ± 0,23  | 2,46 <sup>bc</sup> ± 0,02 | 0,54 <sup>ab</sup> ± 0,03   | 1,95 <sup>ab</sup> ± 0,28 | 5,03 <sup>abcd</sup> ± 0,08 |
| 8     | 60,00  | 3,00    | 55,34 <sup>ab</sup> ± 0,22 | 14,65 <sup>ab</sup> ± 0,23   | 2,42 <sup>bc</sup> ± 0,02 | 0,58 <sup>ab</sup> ± 0,05   | 2,36 <sup>a</sup> ± 0,20  | 5,35 <sup>abc</sup> ± 0,28  |
| 9     | 60,00  | 1,60    | 55,76 <sup>ab</sup> ± 1,91 | 13,81 <sup>f</sup> ± 0,00    | 2,44 <sup>bc</sup> ± 0,01 | 0,33 <sup>d</sup> ± 0,01    | 1,52 <sup>b</sup> ± 0,25  | 4,29 <sup>cde</sup> ± 0,07  |
| 10    | 60,00  | 1,60    | 54,36 <sup>b</sup> ± 2,78  | 14,33 <sup>bcde</sup> ± 0,06 | 2,44 <sup>bc</sup> ± 0,03 | 0,15 <sup>e</sup> ± 0,02    | 1,49 <sup>b</sup> ± 0,15  | 4,30 <sup>cde</sup> ± 0,08  |
| 11    | 60,00  | 1,60    | 59,40 <sup>ab</sup> ± 0,66 | 14,61 <sup>ab</sup> ± 0,07   | 2,37 <sup>bc</sup> ± 0,06 | 0,47 <sup>bcd</sup> ± 0,02  | 1,56 <sup>b</sup> ± 0,16  | 3,34 <sup>ef</sup> ± 0,05   |
| 12    | 60,00  | 1,60    | 59,63 <sup>ab</sup> ± 0,28 | 14,07 <sup>ef</sup> ± 0,06   | 2,42 <sup>bc</sup> ± 0,03 | 0,50 <sup>abcd</sup> ± 0,09 | 1,49 <sup>b</sup> ± 0,06  | 3,40 <sup>ef</sup> ± 0,07   |
| 13    | 60,00  | 1,60    | 57,32 <sup>ab</sup> ± 1,90 | 14,18 <sup>bc</sup> ± 0,03   | 2,35 <sup>c</sup> ± 0,00  | 0,60 <sup>a</sup> ± 0,08    | 1,31 <sup>b</sup> ± 0,07  | 3,44 <sup>ef</sup> ± 0,43   |
| 14    | 60,00  | 1,60    | 58,08 <sup>ab</sup> ± 1,18 | 14,06 <sup>ef</sup> ± 0,06   | 2,41 <sup>bc</sup> ± 0,01 | 0,50 <sup>abc</sup> ± 0,03  | 1,24 <sup>b</sup> ± 0,20  | 3,58 <sup>ef</sup> ± 0,22   |
| 9-14* | 60,00  | 1,60    | 57,43 <sup>ab</sup> ± 0,84 | 14,18 <sup>bc</sup> ± 0,00   | 2,41 <sup>bc</sup> ± 0,00 | 0,46 <sup>abcd</sup> ± 0,05 | 1,44 <sup>b</sup> ± 0,00  | 3,73 <sup>ef</sup> ± 0,08   |

Média de duplicata = desvio padrão na mesma coluna seguida por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Resultados expressos em base seca. N x 5,76. FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura. \* média dos pães de 9 a 14.

Para amido total, os valores das amostras variaram de 54,03 a 61,46 %, havendo diferença significativa somente entre a amostra 5 (24,64FI+1,60SUB), com maior teor de farinha de trigo branca, e as amostras 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB).

Os valores de proteína das amostras variaram de 12,56 a 14,71 %; os de cinza, de 2,13 a 2,61 %; e os de lipídeos de 0,07 a 0,60 % ( $p \leq 0,05$ ). À medida que diminuíram os teores de farinha de trigo integral nas mesclas, diminuíram os teores de proteína, de cinza e de lipídeos. Isto se deve à maior concentração destes componentes da farinha nas camadas mais externas do grão.

No caso do teor de cinza, segundo Chiang e colaboradores (2006), as cinzas do trigo estão localizadas basicamente no farelo. Deve ser observado que tanto a farinha integral quanto a farinha branca foram originadas do mesmo lote de grãos.

Para fibras solúveis, os valores das amostras variaram de 1,24 a 2,36 %, enquanto que para fibras insolúveis, os valores ficaram na faixa de 2,81 a 6,29 % ( $p \leq 0,05$ ). Ou seja, à medida que aumentaram os teores de farinha de trigo integral, aumentaram os teores de fibras solúveis e insolúveis.

Os resultados de composição centesimal desse estudo estão de acordo com o publicado por Borges e colaboradores (2011), em pão elaborado com farinha de linhaça.

### 3.3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PÃES

#### 3.3.2.1 Volume específico

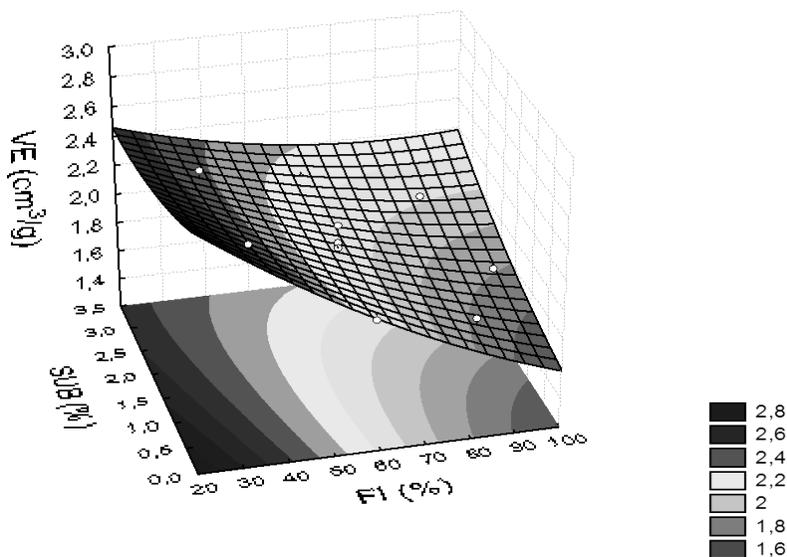
A Tabela 5 apresenta os resultados dos parâmetros de qualidade dos pães elaborados (volume específico e firmeza), a partir dos diferentes níveis de farinha de trigo integral e de substituto de gordura, enquanto que a Figura 2 mostra o efeito do percentual de farinha de trigo integral e de substituto de gordura no volume específico dos pães.

Tabela 5 - Volume específico e firmeza dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura

| Pães  | FI (%) | SUB (%) | VE (cm <sup>3</sup> /g)    | Firmeza (N)                 |
|-------|--------|---------|----------------------------|-----------------------------|
| 1     | 35,00  | 0,60    | 2,49 <sup>a</sup> ± 0,23   | 11,56 <sup>f</sup> ± 0,95   |
| 2     | 35,00  | 2,60    | 2,37 <sup>ab</sup> ± 0,23  | 11,21 <sup>f</sup> ± 1,50   |
| 3     | 85,00  | 0,60    | 1,81 <sup>d</sup> ± 0,21   | 29,56 <sup>a</sup> ± 1,13   |
| 4     | 85,00  | 2,60    | 2,03 <sup>cd</sup> ± 0,13  | 22,77 <sup>b</sup> ± 2,12   |
| 5     | 24,64  | 1,60    | 2,46 <sup>a</sup> ± 0,13   | 8,40 <sup>f</sup> ± 1,31    |
| 6     | 95,35  | 1,60    | 1,79 <sup>d</sup> ± 0,17   | 29,86 <sup>a</sup> ± 2,61   |
| 7     | 60,00  | 0,18    | 2,03 <sup>cd</sup> ± 0,18  | 19,17 <sup>cd</sup> ± 2,49  |
| 8     | 60,00  | 3,00    | 2,13 <sup>bc</sup> ± 0,25  | 16,53 <sup>de</sup> ± 1,67  |
| 9     | 60,00  | 1,60    | 1,96 <sup>bcd</sup> ± 0,08 | 15,58 <sup>e</sup> ± 2,51   |
| 10    | 60,00  | 1,60    | 2,22 <sup>abc</sup> ± 0,27 | 16,06 <sup>de</sup> ± 2,14  |
| 11    | 60,00  | 1,60    | 2,08 <sup>bcd</sup> ± 0,16 | 20,42 <sup>bc</sup> ± 2,69  |
| 12    | 60,00  | 1,60    | 2,10 <sup>bcd</sup> ± 0,19 | 20,46 <sup>bc</sup> ± 1,36  |
| 13    | 60,00  | 1,60    | 2,07 <sup>bcd</sup> ± 0,25 | 16,91 <sup>de</sup> ± 0,99  |
| 14    | 60,00  | 1,60    | 2,01 <sup>cd</sup> ± 0,25  | 17,21 <sup>de</sup> ± 1,52  |
| 9-14* | 60,00  | 1,60    | 2,07 <sup>bcd</sup> ± 0,11 | 17,77 <sup>cde</sup> ± 0,84 |

Média ± desvio padrão na mesma coluna seguida por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ), sendo VE em quadruplicata e Firmeza em quatro determinações. FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura; VE: volume específico. \* média dos pães de 9 a 14.

Figura 2 - Efeito percentual de farinha de trigo integral e de substituto de gordura no volume específico dos pães.



VE: volume específico; SUB: substituto de gordura; FI: farinha de trigo integral.

Assim, a partir da Tabela 5 e da Figura 2 foi verificado que os resultados de volume específico das amostras de pães variaram de 1,79 a 2,49  $\text{cm}^3/\text{g}$ . Resultados similares foram obtidos em pães em que a farinha de trigo branca foi substituída por outras farinhas ricas em fibras, como: 10 % de mistura de fibras (ROSELL; SANTOS, 2010); 40 % de farinha de amaranto (SANZ-PENELLA et al., 2013); 7,5 % de ervilha, 15 % de trigo mourisco e 15 % de teff (*Eragrostis tef*) (COLLAR et al., 2014).

De acordo com o modelo proposto pelo MSR, os parâmetros estimados para os dados experimentais, em volume específico, podem ser descritos pela Equação 5 ( $R^2 = 0,9113$ ), sendo: VE, volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ); FI, farinha de trigo integral (%); SUB, substituto de gordura (%).

$$VE = 3,24735 - 0,05362FI + 0,00007FI^2 - 0,24413SUB + 0,02245SUB^2 + 0,00336FISUB \quad (5)$$

Onde: VE = volume específico [cm<sup>3</sup>/g], FI = farinha de trigo integral [%] e y = substituto de gordura [%].

O coeficiente de determinação R<sup>2</sup> expressa o ajuste do modelo, indicando que o volume específico pode explicar 91,13 % de variabilidade na resposta.

Além disso, a partir da Tabela 6 pode ser observado que, com relação ao volume específico, o efeito linear do substituto de gordura foi não significativo (ns), entretanto, a farinha de trigo integral apresentou efeito linear significativo (negativo).

Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) do volume específico dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura

| Fator          | DP       | GL | MS residual | F        | p        |
|----------------|----------|----|-------------|----------|----------|
| (1) x          | 0,479784 | 1  | 0,479784    | 74,14089 | 0,000026 |
| x <sup>2</sup> | 0,014287 | 1  | 0,014287    | 2,20783  | 0,175618 |
| (2) y          | 0,006904 | 1  | 0,006904    | 1,06694  | 0,331851 |
| y <sup>2</sup> | 0,003690 | 1  | 0,003690    | 0,57019  | 0,471827 |
| x.y            | 0,028255 | 1  | 0,028255    | 4,36621  | 0,070067 |
| Erro           | 0,051770 | 8  | 0,006471    | -        | -        |
| Total DP       | 0,583625 | 13 | -           | -        | -        |

X = % FI: farinha de trigo integral; y = % SUB: substituto de gordura; DP: desvio padrão; GL: grau de liberdade; MS: soma quadrática; p: grau de significância estatística.

Na Figura 2 pode ser observado que os pães elaborados com os menores teores de farinha de trigo integral, independentemente dos teores de substituto de gordura, apresentaram maior volume específico. Valores similares para volume específico (2,46 e 2,55 cm<sup>3</sup>/g) foram obtidos por Skendi et al. (2010), em pães elaborados somente com farinha de trigo

branca. Ou, à medida que houve aumento do teor de farinha de trigo integral na elaboração dos pães, o volume específico decresceu (Figura 2). Nesse trabalho, a fibra, sob a forma de farinha de trigo integral, pode ter agido tanto sob a forma de diluição, quanto de competição, pois apresentou efeito de diluição da rede de glúten, interrompendo a matriz glúten-amido, diminuindo a retenção de gás e o volume do pão (MANDALA et al., 2009) e, atuou competindo pela água, com o glúten e o amido da farinha de trigo, podendo estar dificultando a hidratação suficiente, reduzindo assim o volume do pão (LAI et al., 1989) ou fazendo com que as bolhas de ar escapem.

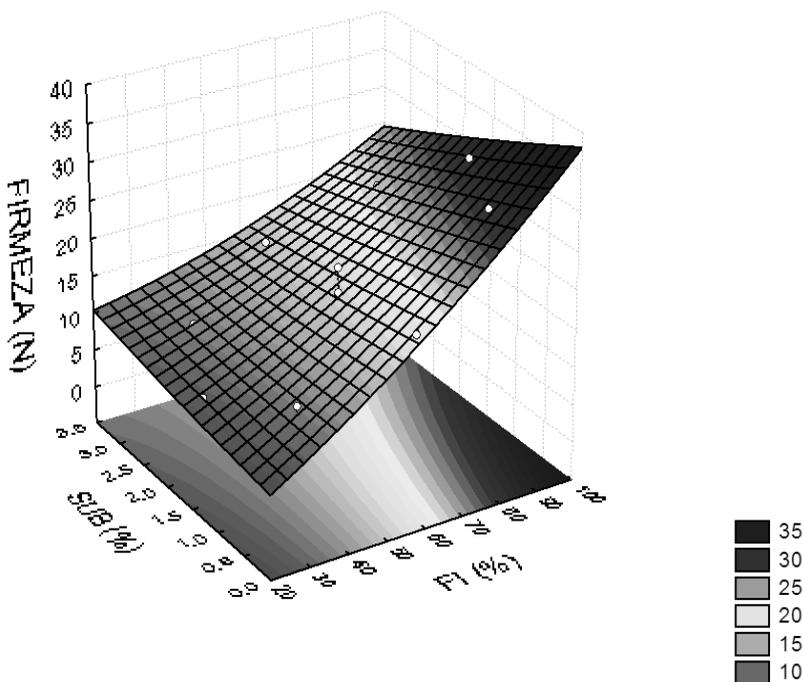
De forma geral, a adição de fibra à farinha de trigo determina efeito negativo no volume do pão (TUNCEL et al., 2014), como mostram as Tabelas 4 e 5, sendo considerada fibra sob a forma de farinha de trigo integral. O estudo de granulometria efetivado (Tabela 3 e Figura 1) indica que, aumentando o teor de farinha de trigo integral, há aumento da retenção no tamiz de 600  $\mu\text{m}$ , caracterizando tamanho maior de partícula, devido à presença de fragmentos derivados das camadas externas do grão, o farelo e o germe. Nesse contexto, é conveniente ressaltar que a farinha de trigo, objeto desse estudo, é aceita comercialmente no Brasil, já que, a legislação brasileira não especifica limites de tamanho de partícula, para farinhas integrais. Além disso, pode ser observado que quanto maior o teor de farinha de trigo integral usado para elaboração dos pães, maiores são os teores de fibra solúvel, fibra insolúvel, cinzas, lipídeos e proteína e, menor é o teor de amido total (Tabela 4), o que ratifica a composição química característica das partes do grão de trigo (pericarpo, endosperma e germe), já que a farinha integral e a branca provêm do mesmo lote de grãos.

Ainda com relação ao volume específico, quando são comparados os pães elaborados com teores de farinha de trigo integral elevados e iguais entre si e, diferentes teores de substituto de gordura, apesar da Tabela 5 não mostrar diferença significativa numérica no volume específico, na Figura 2 foi observado comportamento com tendência de aumento do volume específico, proporcional ao aumento do teor de substituto de gordura. Isso ocorre, provavelmente pelo fato desse amido modificado (substituto de gordura) atribuir certa estabilidade à interface do sistema da massa, conferindo força adicional às células de gás durante o assamento, como ocorreu em trabalho similar com uso de hidrocolóides (ROSELL et al., 2001).

### 3.3.2.2 Firmeza

A Figura 3 mostra o efeito do percentual de farinha de trigo integral e de substituto de gordura na firmeza dos pães.

Figura 3 - Efeito percentual de farinha de trigo integral e de substituto de gordura na firmeza dos pães.



SUB: substituto de gordura; FI: farinha de trigo integral.

A partir da Tabela 5 e da Figura 3 foi verificado que os resultados de firmeza das amostras de pães variaram de 8,40 a 29,86 N, similares aos encontrados em pães enriquecidos com diferentes fontes de fibras de cereais, pseudocereais e legumes (8,7 a 25,3 N) (COLLAR et al., 2014).

De acordo com o modelo proposto pela MSR, os parâmetros estimados para os dados experimentais, em firmeza, podem ser descritos pela Equação 6 ( $R^2 = 0,9508$ ), sendo: Firmeza (N); FI, farinha de trigo

integral (%); SUB, substituto de gordura (%).

$$\text{Firmeza} = 0,38252 + 0,25833FI + 0,00120FI^2 + 2,18162SUB + 0,10059SUB^2 - 0,06440FISUB \quad (6)$$

Onde: Firmeza [N], FI = farinha de trigo integral [%] e y = substituto de gordura [%].

O coeficiente de determinação  $R^2$  encontrado para firmeza pode explicar 95,08 % de variabilidade na resposta.

O efeito do substituto de gordura foi não significativo (Tabela 7), todavia, a farinha de trigo integral apresentou efeito linear positivo sobre a firmeza dos pães. Ou seja, para os mesmos teores de farinha de trigo integral, variando-se o percentual de substituto de gordura, não foram observadas variações na firmeza dos pães, assim, apenas a participação do percentual da farinha de trigo integral conseguiu representar o comportamento da firmeza dos pães. Porém, quando se observam os resultados de firmeza das amostras 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB) (Tabela 5), 29,56 e 22,77 N, respectivamente, pode ser constatado que um aumento no teor de substituto de gordura, diminui a firmeza do pão. Isso ocorre, provavelmente, pelo substituto de gordura interagir com os amidos presentes na farinha de trigo, diminuindo o intumescimento e a solubilização dos mesmos, fazendo assim com que menos área superficial seja exposta ao glúten, diminuindo e enfraquecendo as ligações cruzadas com as proteínas, e conseqüentemente, reduzindo a firmeza do miolo do pão (MARTIN et al., 1991).

Tabela 7 - Análise de variância (ANOVA) da firmeza dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura

| Fator          | DP       | GL | MS residual | F        | <i>p</i> |
|----------------|----------|----|-------------|----------|----------|
| (1) x          | 448,6552 | 1  | 448,6552    | 145,1815 | 0,000002 |
| x <sup>2</sup> | 4,1699   | 1  | 4,1699      | 1,3493   | 0,278877 |
| (2) y          | 14,7610  | 1  | 14,7610     | 4,7765   | 0,060340 |
| y <sup>2</sup> | 0,0741   | 1  | 0,0741      | 0,0240   | 0,880807 |
| x.y            | 10,3684  | 1  | 10,3684     | 3,3551   | 0,104364 |
| Erro           | 24,7224  | 8  | 3,0903      | -        | -        |
| Total DP       | 502,6759 | 13 | -           | -        | -        |

X = % FI: farinha de trigo integral; y = % SUB: substituto de gordura; DP: desvio padrão; GL: grau de liberdade; MS: soma quadrática; *p*: grau de significância estatística.

Na Figura 3 foi observado comportamento com tendência de aumento da firmeza à medida que os teores de farinha de trigo integral aumentaram, independentemente do teor de substituto de gordura. Esse comportamento é observado em trabalho similar em que a dureza do miolo de pães aumentou a partir da substituição de parte da farinha de trigo branca, por farinha de trigo integral feita com frações intermediárias da moagem do grão de trigo (BLANDINO et al., 2013).

### 3.3.3 AJUSTE DO MODELO

De acordo com os resultados obtidos, as respostas, tanto para o volume específico quanto para firmeza, apresentaram apenas efeito linear significativo ( $p \leq 0,05$ ) para a percentagem de farinha integral (% FI). Assim, foram retirados os efeitos não significativos e o modelo foi ajustado para regressão linear simples, representado pela Equação 7 (volume específico) e Equação 8 (firmeza):

$$VE = 3,24735 - 0,02362FI \quad (7)$$

$$Firmeza = 0,38252 + 0,25833FI \quad (8)$$

Onde: FI = farinha de trigo integral [%].

Foi observado, portanto, tendência inversa entre volume específico e firmeza (Figuras 2 e 3, respectivamente), ou seja, quando o VE aumentou, a firmeza diminuiu, e vice-versa. Isso também foi observado em trabalho similar de Skara e colaboradores (2013).

O volume e a firmeza são atributos de qualidade dos pães (SKENDI et al., 2010) entretanto o uso de farinha integral resulta em pães com menor volume, o que por sua vez, limita a aceitação pelos consumidores em geral, apesar dos efeitos benéficos à saúde (ROSELL et al., 2009).

Adicionalmente, um alimento pode ser caracterizado como integral quando possui pelo menos 51 % dos ingredientes como sendo grãos integrais (WHOLE GRAIN COUNCIL, 2013). Assim, constatou-se a partir das Figuras 2 e 3, que os pães elaborados com cerca de 60 % FI, independentemente do % SUB, apresentaram valores elevados para o volume específico, próximos a 2,00 cm<sup>3</sup>/g, e intermediários para a firmeza, cerca de 18,00 N.

Resultados similares foram obtidos em pães elaborados com *Lactobacillus brevis* (bio ingrediente) e tendo 20 % de substituição da farinha de trigo branca por 20 % de farelo de trigo (2,46 cm<sup>3</sup>/g para volume específico e 13 N para firmeza) (VALERIO et al., 2014). E, em pães elaborados com farinha de trigo branca, com substituição em 10 % de farelo de trigo e 10 % de farelo de arroz, obtiveram-se os seguintes resultados, 2,65 cm<sup>3</sup>/g para volume específico e 18,72 N para firmeza, sendo considerado um pão aceito sensorialmente, como evidenciado nas pontuações de aceitabilidade (TUNCEL et al., 2014). Então, a partir dos resultados encontrados para os atributos de qualidade, volume específico e firmeza, pode ser indicado, por similaridade, aceitação sensorial do pão experimental com 60 % FI, independentemente do % SUB.

### 3.3.3.1 Validação dos modelos matemáticos

A Tabela 8 mostra os valores preditos e os valores experimentais obtidos pelos modelos matemáticos encontrados para as variáveis estudadas (volume específico e firmeza) do pão escolhido aleatoriamente, elaborado com 50 % de farinha de trigo integral e 1,5 % de substituto de gordura.

Tabela 8 - Valores preditos pelo modelo completo, ajustado e valores experimentais obtidos

| Variáveis | Valores preditos pelo modelo completo | Valores preditos pelo modelo simplificado | Valores experimentais            | Erro em relação ao modelo completo (%) | Erro em relação ao modelo simplificado (%) |
|-----------|---------------------------------------|---|----------------------------------|--|--|
| VE        | 2,18 (cm <sup>3</sup> /g)             | 2,07 (cm <sup>3</sup> /g)                 | 2,40 ± 0,27 (cm <sup>3</sup> /g) | 9,17                                   | 13,75                                      |
| Firmeza   | 14,97 (N)                             | 13,30 (N)                                 | 11,42 ± 1,02 (N)                 | 31,08                                  | 16,46                                      |

Média ± desvio padrão ( $p \leq 0,05$ ). VE: volume específico; N: Newton.

Na Tabela 8 pode ser observado que, para a variável VE, os valores preditos e experimentais estão muito próximos, já que o erro foi de 9,17 % e 13,75 %, respectivamente com relação ao modelo completo e ao simplificado.

O volume específico teve maior erro com relação ao modelo simplificado (considera apenas o efeito significativo linear da farinha de trigo integral), indicando que o valor experimental se aproxima mais do modelo completo, em que há dependência da variável independente, substituto de gordura. Ou seja, na prática, o volume específico é influenciado pelo substituto de gordura.

Já para a variável firmeza (Tabela 8), há diferença entre os valores preditos e experimentais, já que o erro foi de 31,08 % e 16,46 %, respectivamente com relação ao modelo completo e ao simplificado.

A firmeza teve maior erro com relação ao modelo completo, indicando que o valor experimental se aproxima mais do modelo simplificado, em que há dependência apenas do efeito significativo linear da farinha de trigo integral, do que do modelo do modelo completo, em que estão presentes as variáveis farinha de trigo integral e substituto de gordura. Ou seja, a firmeza depende basicamente da farinha de trigo integral, na prática.

Esse resultado pode ser ratificado pela granulometria (Figura 1), já que, em praticamente todas as misturas, há maior quantidade de

partículas classificadas como maiores ( $\geq 600 \mu\text{m}$ ), o que influencia a massa do pão deixando-a mais dura (GAN et al., 1992).

De forma geral, apesar de terem sido mantidas as condições do estudo, erros elevados podem ter ocorrido, provavelmente, por ter havido alguma alteração em variáveis físicas, como heterogeneidade do tamanho das partículas presentes nas amostras de farinha de trigo integral utilizada, umidade relativa do ar, atividade do micro-organismo para fermentação, temperatura ambiente.

### 3.4 CONCLUSÃO

A adição combinada de diferentes teores de farinha de trigo integral e de substituto de gordura, para elaborar pães em escala piloto, com teor de fibras adequado à ingestão e isento de gordura, mostrou-se benéfica, uma vez que se podem avaliar as características de qualidade.

A partir da Metodologia de Superfície de Resposta, foram encontrados modelos matemáticos para volume específico e firmeza. Foi encontrado apenas efeito significativo linear da farinha de trigo integral (com a presença de farelo e germe), tanto para o volume específico quanto para firmeza, já que os modelos foram ajustados para estas respostas, sendo constatado que houve tendência inversa entre elas.

A validação do modelo ajustado foi confirmada pelos resultados dos valores experimentais para as variáveis resposta (volume específico e firmeza), os quais foram muito próximos aos valores preditos, para a elaboração do pão escolhido aleatoriamente dentro da faixa inicial.

E, como forma de verificar a manifestação mais fortemente, do teor de substituto de gordura, nos parâmetros de qualidade volume específico e firmeza, sugere-se alterar os níveis de variação de forma que o  $+\alpha$  seja  $> 3,0 \%$ .

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro - TR 2012000008 (ANEXO A).

**REFERÊNCIAS**

AACC American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of Analysis**, 10<sup>th</sup>, Ed. Approved November 8, 2000. AACC International, St Paul, MN, U.S.A.

ABBAS, K. A.; KHALIL, S. K.; HUSSIN, A. S. M. Modified starches and their usages in selected food products: a review study. **Journal of Agriculture Science**, v. 2, n. 2, p. 90-100, 2010.

ALEXANDER, R. J. Fat replacers based on starch. **Cereal Foods World**, v. 40, n. 5, p. 366-368, 1995.

APLEVICZ, K. S. **Identificação de bactérias lácticas e leveduras em fermento natural obtido a partir de uva e sua aplicação em pães**. 2013. 162 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

BLANDINO, M.; SOVRANI, V.; MARINACCIO, F.; REYNERI, A.; ROLLE, L.; GIACOSA, S.; LOCATELLI, M.; BORDIGA, M.; TRAVAGLIA, F.; COÏSSON, J. D.; ARLORIO, M. Nutritional and technological quality of bread enriched with an intermediated perled wheat fraction. **Food Chemistry**, v. 141, p. 2549-2557, 2013.

BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; PAULA, C. D.; RAMOS, D. L.; CHAVES, J. B. P. Caracterização físico-química e sensorial de pão de sal enriquecido com farinha integral de linhaça. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 83-96, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº8 de 02 de junho de 2005. **Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade da Farinha de Trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 jun. 2005a. Seção 1, n. 105, p. 91.

CHEN, G.; ZHANG, B. Hydrolysis of granular corn starch with controlled pore size. **Journal of Cereal Science**, v. 56, p. 316-320, 2012.

CHIANG, S.; CHEN, C.; CHANG, C. Effect of wheat flour protein compositions on the quality of deep-fried gluten balls. **Food Chemistry**, v. 97, p. 666-673, 2006.

COLLAR, C.; JIMÉNEZ, T.; CONTE, P.; FADDA, C. Impact of ancient cereals, pseudocereals and legumes on starch hydrolysis and antiradical activity of technologically viable blended breads. **Carbohydrate Polymers**, v. 113, p. 149-158, 2014.

CURTI, E.; CARINI, E.; BONACINI, G.; TRIBUZIO, G.; VITTADINI, E. Effect of the addition of bran fractions on bread properties. **Journal of Cereal Science**, v. 57, p. 325-332, 2013.

DOBLADO-MALDONADO, A.F.; PIKE, O.A.; SWELEY, J.C.; ROSE, D.J. Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 119-126, 2012.

EFSA European Food Safety Authority, nº 1462. Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre. **European Food Safety Authority**, v. 8, n. 3, p. 1-77, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Resources**, 2015. Disponível em <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/240943/> Acessado em 24 de agosto de 2015.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistic division**, 2014. Disponível em <http://faostat.fao.org/> Acessado em 23 de outubro de 2014.

FISHER, R. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. **Transactions of the Royal Society of Edinburg**, v. 52, p. 399-433, 1918.

FLANDER, L.; SALMENKALLIO-MARTTILA, M.; SUORTTI, T.; AUTIO, K. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, p. 860-870, 2007.

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, p. 151-63, 1992.

GLUECK, C. J.; STREICHER, P. A.; ILLIG, E. K.; WEBER, K. D. Dietary fat substitutes. **Nutrition Research**, v. 14, n. 10, p. 1605-1619, 1994.

HU, F. B. Dietary patterns analysis: a new direction in nutritional epidemiology. **Current Opinion in Lipidology**, v. 13, p. 3-9, 2002.

KTENIOUDAKI, A.; GALLAGHER, E. Recent advances in the development of high-fibre baked products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 28, p. 4-14, 2012.

KITTISUBAN, P.; RITTHIRUANGDEJ, P.; SUPHANTHARIKA, M. Optimization of hydroxypropylmethylcellulose, yeast beta-glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten-free rice bread using response surface methodology. **LWT – Food Science and Technology**, v. 57, p. 738-748, 2014.

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.

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, p. 239–249, 1998.

LIU, C.; LI, L.; HAO, C.; ZHENG, X.; BIAN, K.; ZHANG, J.; WANG, X. Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, p. 310-318, 2015.

MA, Y.; CAI, C.; WANG, J.; SUN, D. Enzymatic hydrolysis of corn starch for producing fat mimetics. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 297-303, 2006.

MANDALA, I.; POLAKI, A.; YANNIOTIS, S. Influence of frozen storage on bread enriched with different ingredients. **Journal of Food Engineering**, v. 92, p. 137-145, 2009.

MARTIN, M. L.; ZELEZNAK, K. J.; HOSENEY, R. C. A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. **Cereal Chemistry**, v. 68, n. 5, p. 498-503, 1991.

MONTGOMERY, D. C. **Diseño y análisis de experimentos**. Trad. Jaime Delgado Saldivar. México: Iberoamérica, 1991. 651p.

NIU, M.; HOU, G.; LEE, B.; CHEN, Z. Effects of fine grinding of millfeeds on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and its raw noodle products. **LWT – Food Science and Technology**, v. 57, p. 58-64, 2014.

NOORT, M. W. J.; HAASTER, D. V.; HEMERY, Y.; SCHOLS, H. A.; HAMER, R. J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – Evidence for fibre-protein interactions. **Journal of Cereal Science**, v. 52, p. 59-64, 2010.

ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo Integral**. 2013. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ROSELL, C. M.; ROJAS, J. A.; BENEDITO DE BARBER, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, p. 75-81, 2001.

ROSELL, C. M.; SANTOS, E. Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 273-281, 2010.

ROSELL, C.M.; SANTOS, E.; SANTOS, J. M.; SANZ PENELLA, M. H. Wholemeal wheat bread: A comparison of different breadmaking processes and fungal phytase addition. **Journal of Cereal Science**, v. 50, p. 272–277, 2009.

SANZ-PENELLA, J. M.; WRONKOWSKA, M.; SORAL-SMIETANA, M.; HAROS, M. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, p. 679-685, 2013.

SEYER, M.; GÉLINAS, P. Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 688-693, 2009.

SHAHIDI, F. Nutraceuticals and functional foods: whole versus processed foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 20, p. 376-387, 2009.

SKARA, N.; NOVOTNI, D.; CUKELJ, N.; SMERDEL, B.; CURIC, D. Combined effects of inulin, pectin and guar gum on the quality and stability of partially baked frozen bread. **Food Hydrocolloids**, v. 30, p. 428-436, 2013.

SKENDI, A.; BILIADERIS, C. G.; PAPAGEORGIOU, M.; IZYDORCZYK, M. S. Effects of two barley  $\beta$ -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1159-1167, 2010.

STEVENSON, L.; PHILLIPS, F.; O'SULLIVAN, K.; WALTON, J. Wheat bran: its composition and benefits to health, an european perspective. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 63, n. 8, p. 1001-1013, 2012.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 215-225, 2002.

TUNCEL, N. B.; YILMAZ, N.; KOCABIYIK, H.; UYGUR, A. The effect of infrared stabilized rice bran substitution on physicochemical and sensory properties of pan breads: Part I. **Journal of Cereal Science**, v. 59, p. 155-161, 2014.

ULZIJARGAL, E.; YANG, J.; LIN, L.; CHEN, C.; MAU, J. Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. **Food Chemistry**, v. 138, p. 70-76, 2013.

VALERIO, F.; DI BIASE, M.; CAPUTO, L.; CREANZA, T. M.; ANCONA, N.; VISCONTI, A.; LAVERMICOCCA, P. Effect of *Lactobacillus brevis*-based bioingredient and bran on microbiological, physico-chemical and textural quality of yeast-leavened bread during

storage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 25, p. 2-8, 2014.

VANDERVEEN, J. E.; GLINSMANN, W. H. Fat substitutes: a regulatory perspective. **Annual Review of Nutrition**, v. 12, p. 473-487, 1992.

WEAVER, G. L. A miller's perspective on the impact of health claims. **Nutrition Today**, v. 36, p. 115-118, 2001.

WGC. Whole Grains Council. **A quick quiz on whole grains**, 2013. Disponível em <<http://wholegrainscouncil.org/files/6.Standards+Definitions.pdf>> Acessado em 10 de abril de 2013.

WGC. Whole Grains Council. **Government guidance**, 2014. Disponível em <<http://wholegrainscouncil.org/whole-grain-stamp/government-guidance>> Acessado em 23 de outubro de 2014.



## CAPÍTULO 4

### **OTIMIZAÇÃO DE ANÁLISE DE IMAGEM PARA QUALIDADE DE PÃES INTEGRAIS COM SUBSTITUTO DE GORDURA**

Artigo completo publicado “Optimization of image analysis techniques for quality assessment of whole-wheat breads made with fat replacer”. *Food Science and Technology*. 2015, 35, 133-142 (APÊNDICE C).

Parte deste trabalho foi apresentado na forma de banner no *First International Workshop: Innovation in Food Science 2014*, Florianópolis, Outubro de 2014 (APÊNDICE D).

Parte deste trabalho foi apresentado na forma de banner no *XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Aracajú - Sergipe, Setembro de 2014 (APÊNDICE E).

## OTIMIZAÇÃO DE ANÁLISE DE IMAGEM PARA QUALIDADE DE PÃES INTEGRAIS COM SUBSTITUTO DE GORDURA

### RESUMO

A estrutura celular de produtos saudáveis, adicionados de fibra alimentar e com baixa caloria, é um fator importante que contribui à determinação da qualidade, que pode ser quantificada pelo sistema de análise de imagem, denominando então a textura visual. Este trabalho tem como objetivo comparar técnicas de análise de imagem (binarização, por meio dos algoritmos Otsu e default) quantificando as diferenças na estrutura do miolo de pães (elaborados com diferentes percentuais de farinha de trigo integral e de substituto de gordura), relacionando-as com a dimensão fractal e discutindo o comportamento dos parâmetros (número de células, área celular média, densidade celular, circularidade) utilizando metodologia de superfície de resposta. As análises mostraram que há diferença significativa entre os parâmetros estudados (número de células, área celular média, densidade celular e circularidade) nos miolos dos pães comparando os resultados dos métodos aplicados, Otsu e default. Para os valores de dimensão fractal, não há diferença significativa entre todas as amostras analisadas, sendo caracterizadas como estrutura rugosa. O método Otsu mostra, com mais fidedignidade do que o default, a estrutura do miolo dos pães analisados, e por isso, é o mais indicado à representatividade estrutural da textura estudada.

**Palavras-chave:** Pão integral. Substituto de gordura. Análise de imagem. Algoritmo Otsu e default. Dimensão fractal.

## **OPTIMIZATION OF IMAGE ANALYSIS TECHNIQUES FOR QUALITY ASSESSMENT OF WHOLE-WHEAT BREADS MADE WITH FAT REPLACER**

### **ABSTRACT**

The cellular structure of healthy food products, with added dietary fiber and low in calories, is an important factor that contributes to the assessment of quality, which can be quantified by image analysis of visual texture. This study seeks to compare image analysis techniques (binarization using Otsu's method and the default ImageJ algorithm, a variation of the iterative intermeans method) for quantification of differences in the crumb structure of breads made with different percentages of whole-wheat flour and fat replacer, and discuss the behavior of the parameters number of cells, mean cell area, cell density, and circularity using response surface methodology. Comparative analysis of the results achieved with the Dtsu and default ImageJ algorithms showed a significant difference between the studied parameters. The Dtsu method demonstrated the crumb structure of the analyzed breads more reliably than the default ImageJ algorithm, and is thus the most suitable in terms of structural representation of the crumb texture.

**Keywords:** Otsu and default algorithms. Binarization. ImageJ.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos está ciente da crescente demanda dos consumidores por produtos saudáveis (HELLYER et al., 2012), adicionados de fibra alimentar (TRUSWELL, 2002; SUDHA et al., 2007; SARDINHA et al., 2014; VUHOLM et al., 2014) e de baixa caloria (SANDROU; ARVANITOYANNIS, 2000; PAPIES; VELING, 2013; HEIMAN; LOWENGART, 2014).

A inclusão de grãos integrais na dieta pode ter impacto na saúde e no estilo de vida e, um exemplo, são os componentes funcionais do trigo, um cereal único, pois apenas a farinha de trigo pode formar massa viscoelástica com propriedades reológicas (GOESAERT et al., 2005). No entanto, é um desafio elaborar pães integrais com qualidade sensorial.

O consumo de gordura está cientificamente relacionado ao risco aumentado de desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, o que repercute nas estatísticas de morbidade e mortalidade (BRASIL, 2005). Uma possibilidade para reduzir calorias de determinado alimento é utilizar substitutos de gordura (ZOULIAS et al., 2002; MA et al., 2006; ZAHN et al., 2010; MEYER et al., 2011; VOLPINI-RAPINA et al., 2012; CHOE et al., 2013), como amidos modificados enzimaticamente, que tem benefícios funcionais e podem ser utilizados, especificamente, como substitutos de gordura em pães (SCHEUER et al., 2014) (APÊNDICE F).

A estrutura celular de produtos a base de cereais, como os pães, é um fator importante que contribui às propriedades de textura (ZGHAL et al., 1999) e à determinação e quantificação da qualidade sensorial (MONDAL; DATTA, 2008). Portanto, ter conhecimento sobre a estrutura de pães pode ser útil para prever as propriedades de qualidade (OZKOC et al., 2009), principalmente de pães com farinha de trigo integral, que mostram ter resultados menos atraentes quanto à qualidade tecnológica para o consumo, do que pães com farinha de trigo branca (ORO, 2013).

Os efeitos de variação percentual nos componentes da formulação de determinado alimento ou nos parâmetros de processamento podem ser avaliados através de metodologia de superfície de resposta (COLLAR et al., 1999; CLARKE et al., 2003; COLLAR et al., 2007; FLANDER et al., 2007; GHODKE et al., 2009; CHOY et al., 2012; ALMEIDA et al., 2013). Além disso, os elementos da estrutura dos alimentos, como pães (KIHLEBERG et al., 2004), amido (WU et al., 2012), frutas e vegetais (QING-GUO et al., 2006), podem ser quantificados a partir de análise de imagem (JACKMAN; SUN, 2013), contribuindo, assim, ao entendimento das propriedades de qualidade, como a textura

(QING-GUO et al., 2006).

Desta maneira, como forma de melhorar a formulação de pães, o processamento da imagem é um processo útil para investigar, aproximar e prever grande número de propriedades, tal como a análise de textura (POURFARZAD et al., 2013), por meio da avaliação do tamanho das células, da distribuição do tamanho celular, do número de células por unidade de área, e da espessura da parede celular (GONZALES-BARRON; BUTLER, 2006). A precisão de um sistema de análise de imagem digital para a medição do miolo pode ser avaliada com base na capacidade de prever a densidade do miolo do pão, a partir de parâmetros estruturais, diretamente computadorizados (ZGHAL et al., 1999), como o número de células, a área média das células, a densidade celular, a circularidade, a área celular mínima e máxima. A área celular média e a densidade celular são parâmetros que descrevem a estrutura celular do miolo do pão, caracterizando então a textura visual (SCANLON; ZGHAL, 2001), que, juntamente com a percepção sensorial, sofre o efeito a partir do tamanho da célula do miolo (SKENDI et al., 2010).

Apesar de ainda não existir padronização, existem vários trabalhos utilizando análise de imagem em pães elaborados com farinha de trigo branca (ZGHAL et al., 1999; FALCONE et al., 2005; GONZALES-BARRON; BUTLER, 2006; GONZALES-BARRON; BUTLER, 2008; PÉREZ-NIETO et al., 2010; RAMÍREZ et al., 2010) e alguns em pães elaborados utilizando grãos integrais, como soja (LODI; VODOVOTZ, 2008),  $\beta$ -glucana (SKENDI et al., 2010), chia (FARRERA-REBOLLO et al., 2012), amaranto (SANZ-PENELLA et al., 2013) e trigo integral (TORRI et al., 2013).

Uma das ações mais comuns para se executar em qualquer imagem é a análise descritiva. Esta é realizada para analisar as relações entre a cor e/ou características de textura da imagem, para encontrar diferentes tipos de padrões e objetos, ou para estudar a distribuição estatística dos *pixels* e os diferentes grupos relacionados com os diversos fenômenos que aparecem na imagem (PRATS-MONTALBÁN et al., 2011). Portanto, o que é necessário é um modelo preciso e robusto de probabilidade do julgamento do consumidor, sendo que o sucesso da técnica escolhida depende da estrutura que se pretende quantificar, ajustando níveis de cinza para distinguir a estrutura do fundo (RIDLER; CALVARD, 1978). Nesse sentido, existem múltiplos ajustes que podem ser considerados: aquisição de imagem que revele mais informações ou que seja menos confundida com o fundo (PRATS-MONTALBÁN et al., 2011), homogeneização da iluminação para eliminar as irregularidades,

melhor resolução, melhor preparação da amostra para garantir mínimo desvio dos dados e pesquisar o melhor algoritmo de segmentação (binarização) à imagem estudada, de forma que seja mais fidedigno à região de interesse (JACKMAN; SUN, 2013). A segmentação refere-se ao isolamento de um ou vários objetos de fundo de uma imagem, para executar, na sequência, qualquer tipo de caracterização necessária da imagem (PRATS-MONTALBÁN et al., 2011).

Existem muitos algoritmos de binarização automatizados (GONZALES-BARRON; BUTLER, 2006), como o Otsu e o default. Na maioria dos casos em que estes foram escolhidos, forneceram dados robustos e eficientes (OTSU, 1979; HERBERT, 2014).

Há também uma forma alternativa de caracterizar a textura por imagem, a dimensão fractal (JACKMAN; SUN, 2013), que descreve a rugosidade morfológica de alimentos irregulares na conformação e com geometria complexa, além de irregularidades estruturais, como poros e protuberâncias (BARRETT; PELEG, 1995).

O objetivo deste trabalho foi comparar a binarização através de análise de imagem, por meio dos algoritmos Otsu e default, que quantificam as diferenças na estrutura do miolo de diferentes tipos de pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura, bem como relacionar a binarização com a dimensão fractal. Este procedimento quantifica as mudanças estruturais de maneira simples (visualizadas a partir da metodologia de superfície de resposta), e que poderiam ter efeito sobre a qualidade do pão.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1 MATERIAL**

O estudo foi realizado com amostras comerciais de farinha de trigo integral (FI – proveniente do grão de trigo moído inteiro) e branca (FB), obtidas a partir do mesmo lote de trigo, da safra 2012, cedidas pela Cooperativa Agrária Agroindustrial, de Guarapuava, Paraná - Brasil. Essas farinhas foram estocadas a -18 °C, até o momento das análises. Visando favorecer a uniformização e o estudo das variáveis dependentes, foram empregadas uma amostra representativa de cada tipo de farinha (FI e FB).

Foi usado como substituto de gordura (SUB), seguindo as orientações do fabricante, amido de milho modificado por conversão

enzimática, indicado comercialmente para a elaboração de pães, cedido pela *Dutch Starches International* – DSI, Holanda, com nome comercial Selectamylx C150.

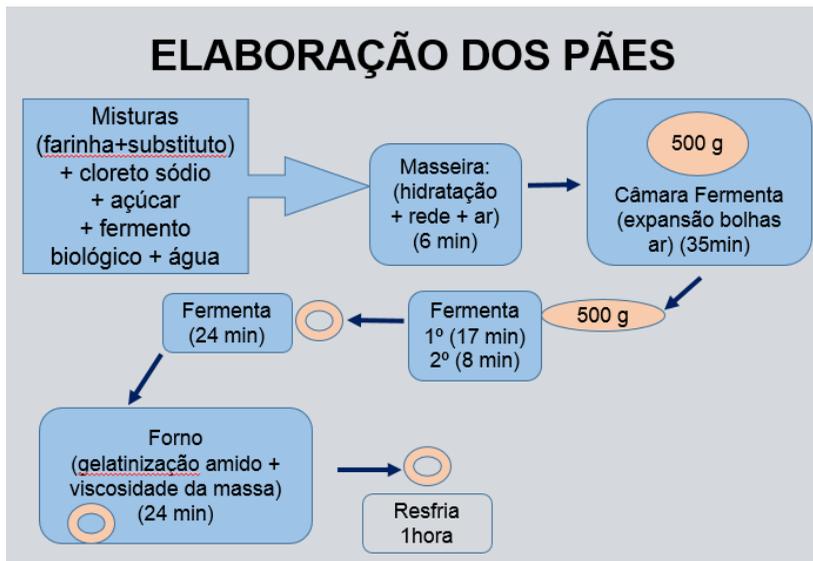
## 4.2.2 MÉTODOS

### 4.2.2.1 Elaboração dos pães

Para elaboração dos pães foram preparadas misturas de farinha de trigo integral (FI) e farinha de trigo branca (FB), sendo as amostras codificadas conforme delineamento experimental da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), de acordo com o percentual utilizado: 95,35FI (95,35FI+4,65FB); 85FI (85FI+15FB); 60FI (60FI+40FB); 35FI (35FI+65FB); 24,64FI (24,64FI+75,36FB).

Os pães foram elaborados em escala piloto, com escolha aleatória da amostra, em duas determinações, seguindo o método nº 10-10B, de panificação direta (AACC, 2000), com adaptações (Figura 1). As massas foram fermentadas por 60 minutos, empregando a seguinte fórmula padrão: farinha de trigo (100 %), açúcar (6 %), fermento biológico instantâneo (1,8 %), cloreto de sódio (1,5 %), gordura (3 %) e água potável (FLANDER et al., 2007). No lugar da gordura indicada pelo método, foi utilizado substituto de gordura. A quantidade de água adicionada em cada formulação foi de 86 % do valor de absorção de água da farinha de trigo da análise farinográfica, com metodologia adaptada a partir de Seyer e Gélinas (2009). Os ingredientes foram misturados em masseira de velocidade rápida (Líder, Modelo RPD 25, Curitiba, Brasil) durante 6 minutos (FLANDER et al., 2007; ORO, 2013). A temperatura da massa após o batimento foi de 28 a 29 °C. O crescimento de porções de 500 gramas de massa crua, aconteceu em câmara de fermentação (Perfecta, Modelo CFC20, Curitiba, Brasil) a 30±1 °C, 85 % de umidade relativa, durante 35 minutos. A massa foi laminada manualmente com rolo, duas vezes e colocada para fermentar durante 17 minutos, e a seguir por mais 8 minutos. Logo após, as massas dos pães foram modeladas em formato rocambole, colocadas em forma retangular de alumínio forrada com papel manteiga (9,5 cm x 20 cm x 4,5 cm) e fermentadas durante 24 minutos. Os pães foram assados em forno elétrico (Líder, Modelo Ventile, Curitiba, Brasil) a 180 °C, durante 24 minutos. Após 1 hora de resfriamento dos pães sob grades metálicas à temperatura ambiente, amostras centrais de fatias do miolo de cada pão, com 1 cm de espessura foram escaneadas (POURFARZAD et al., 2013).

Figura 1 - Fluxograma do processo de elaboração dos pães.



#### 4.2.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido conforme Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), da Metodologia de Superfície de Resposta, com dois fatores (variáveis independentes), sendo % de farinha de trigo integral (FI) e % de substituto de gordura (SUB).

O DCCR totalizou 14 experimentos, sendo: 4 tratamentos fatoriais completos  $2^2$ , cada experimento com dois níveis, codificados como -1 e +1; 4 tratamentos axiais codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ , onde  $\alpha=(2^2)^{1/4} = 1,414$ ; 1 tratamento no ponto central repetido seis vezes, para estimar o erro puro ou experimental (serve também para calcular a reprodutibilidade do método, neste todos os fatores estão codificados como zero).

Os níveis das variáveis têm seus valores mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação do delineamento experimental

| Variáveis | Níveis    |       |       |       |           |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-----------|
|           | $-\alpha$ | -1    | 0     | +1    | $+\alpha$ |
| x         | 24,64     | 35,00 | 60,00 | 85,00 | 95,35     |
| y         | 0,18      | 0,60  | 1,60  | 2,60  | 3,00      |

x: FI (farinha de trigo integral); y: SUB (substituto de gordura).

Na Tabela 2 é apresentado o delineamento experimental para as variáveis FI e SUB, com valores codificados e reais.

Tabela 2 - Delineamento experimental para as duas variáveis independentes

| Experimentos | tratamentos | variáveis independentes  |                     |                          |                      |
|--------------|-------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
|              |             | valor<br>codificado<br>x | valor<br>real<br>FI | valor<br>codificado<br>y | valor<br>real<br>SUB |
| 1            | Fatoriais   | 35,00                    | -1                  | 0,60                     | -1                   |
| 2            |             | 35,00                    | -1                  | 2,60                     | +1                   |
| 3            |             | 85,00                    | +1                  | 0,60                     | -1                   |
| 4            |             | 85,00                    | +1                  | 2,60                     | +1                   |
| 5            | Axiais      | 24,64                    | - $\alpha$          | 1,60                     | 0                    |
| 6            |             | 95,35                    | + $\alpha$          | 1,60                     | 0                    |
| 7            |             | 60,00                    | 0                   | 0,18                     | - $\alpha$           |
| 8            |             | 60,00                    | 0                   | 3,00                     | + $\alpha$           |
| 9            | Centrais    | 60,00                    | 0                   | 1,60                     | 0                    |
| 10           |             | 60,00                    | 0                   | 1,60                     | 0                    |
| 11           |             | 60,00                    | 0                   | 1,60                     | 0                    |
| 12           |             | 60,00                    | 0                   | 1,60                     | 0                    |
| 13           |             | 60,00                    | 0                   | 1,60                     | 0                    |
| 14           |             | 60,00                    | 0                   | 1,60                     | 0                    |

FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura.

O modelo de regressão de segunda ordem é representado pela Equação 1 (MONTGOMERY, 1991).

$$z = b_0 + b_1x + b_{11}x^2 + b_2y + b_{22}y^2 + b_{12}xy + Erro \quad (1)$$

Onde:  $z$  = resultado estimado para as variáveis resposta: área celular média e densidade celular;  $x$  = % FI;  $y$  = SUB;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_{11}$ ,  $b_2$ ,  $b_{22}$ ,  $b_{12}$  = estimativas dos coeficientes da equação de regressão.

As variáveis dependentes ou respostas consideradas foram: área celular média e densidade celular.

#### 4.2.2.3 Configurações da resolução de digitalização

Imagens de três fatias de cada experimento dos pães elaborados foram obtidas utilizando escaner Multifuncional Brother DCP – 7065DN - Japão. O brilho e o contraste foram ajustados no valor zero. As imagens foram salvas como arquivo bitmap, resolução de 300 *dots per inch* (dpi), de acordo com o sistema de cores vermelho-verde-azul, *Red-Green-Blue* (RGB) e formato bmp. As imagens foram obtidas em pixels e convertidas para milímetros, a partir de valores referência. Um quadrado 40 mm x 40 mm foi avaliado de cada amostra. Para esse processo foi utilizado o software livre GNU Image Manipulation Program (GIMP), versão 2.6, EUA. Depois de recortada, a imagem foi convertida para escala de cinza (8 bits). O pré-processamento (mudança de níveis de cinza), a segmentação (binarização - *thresholding*) e as medidas do miolo (caracterização dos parâmetros) foram realizadas usando o ImageJ Fiji 1.46, um software gratuito, EUA.

A segmentação foi caracterizada como manual, com polarização da escala de cinza em imagens binárias utilizando algoritmos Otsu e default.

O algoritmo Otsu é um método orientado à uniformidade, desde que esta seja calculada como uma medida inserida em cada região independente, determinando o limiar ótimo pela minimização da intra-classe da variância da região segmentada (SAHOO et al., 1988), ou seja, maximiza a variância inter-classes. Portanto, o método Otsu (OTSU, 1979) gera imagens binárias adequadas e consistentes (alto grau de uniformidade), em termos de medidas de desempenho e características de limiar da figura computada (GONZALES-BARRON; BUTLER, 2006).

O algoritmo default é conhecido como método iterativo

intermédio, uma variação do algoritmo IsoData (RIDLER; CALVARD, 1978). O processo divide a imagem em objeto e fundo, tendo um limite inicial, sendo que, em seguida, as médias dos *pixels*, ou abaixo ou acima do limiar dos *pixels* são computadas. As médias destes dois valores são calculadas, o limiar é incrementado e o processo é repetido até que o limiar seja maior que a média composta [limiar = (média do fundo + média dos objetos) / 2] (GONZALES-BARRON; BUTLER, 2006).

Os parâmetros calculados foram: número de células (objetos ou poros); área média das células ( $\text{mm}^2$ ); densidade celular ( $\text{n}^\circ$  células/ $\text{mm}^2$ ), circularidade e área celular mínima e máxima ( $\text{mm}^2$ ). A densidade celular foi calculada dividindo-se o número de células pela área celular média. A forma celular foi analisada utilizando o fator de forma que mede a circularidade, sendo que um círculo perfeito tem fator de forma de 1 e uma linha tem fator de forma aproximado de 0 (CROWLEY et al., 2000). Além disso, foi calculada a distribuição de frequência (STURGES, 1926) do tamanho das células, para cada método (Otsu e default).

De acordo com Polaki e colaboradores (2010), a distribuição das células revela informação sobre a estrutura analisada, assim, as células podem ser classificadas em pequenas (área  $< 4 \text{ mm}^2$ ), médias (área  $4\text{--}8 \text{ mm}^2$ ) ou grandes (área  $> 8 \text{ mm}^2$ ), uma vez que todos os tamanhos de células coexistem na matriz.

#### 4.2.2.4 Dimensão fractal da textura

A textura fractal das imagens foi avaliada de acordo com o método *Box Counting*, que é uma forma objetiva de amostrar e analisar a complexidade e a heterogeneidade de imagens digitais binárias. A dimensão fractal (DF) foi calculada utilizando-se o software ImageJ, por meio do *plugin* FracLac, 2.0, como mostrado na Equação 2, onde "N" é o número de quadrados e "r" é o comprimento do lado do quadrado.

$$DF = \log(N)/\log\left(\frac{1}{r}\right) \quad (2)$$

O procedimento básico consiste em dispor sistematicamente vários quadrados, progressivamente menores, sobre uma imagem, cobrindo-a. Deste modo, há a simulação do escalonamento aproximado de complexidade da DF, cujos valores são usados para descrever a complexidade ou rugosidade do miolo dos pães (PÉREZ-NIETO et al., 2010). Segundo Farrera-Rebollo e colaboradores (2012), o cálculo de fractais difere de objetos euclidianos, como um ponto (DF= 0), uma linha

(DF = 1,0), uma superfície (DF = 2) ou um sólido (DF = 3), resultando em uma medida geométrica complexa.

#### **4.2.2.5 Análise dos resultados**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste paramétrico, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Para a análise estatística foi utilizado o programa Statistica 7.0<sup>®</sup>.

### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

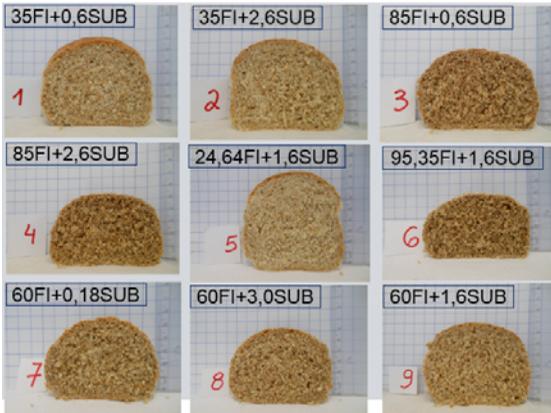
As amostras de 9 a 14 compõem os tratamentos nos pontos centrais, por isso, foi representada de forma única.

A Figura 2(a) mostra a imagem dos pães elaborados.

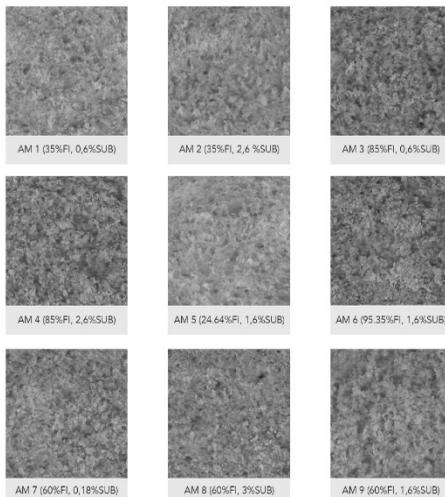
A análise de imagem foi realizada em cada uma das três fatias de pão digitalizadas para proporcionar visão detalhada da textura, como mostrado na Figura 2(b).

Figura 2 - Imagens das amostras de pães.

(a) Imagens das amostras de pães.



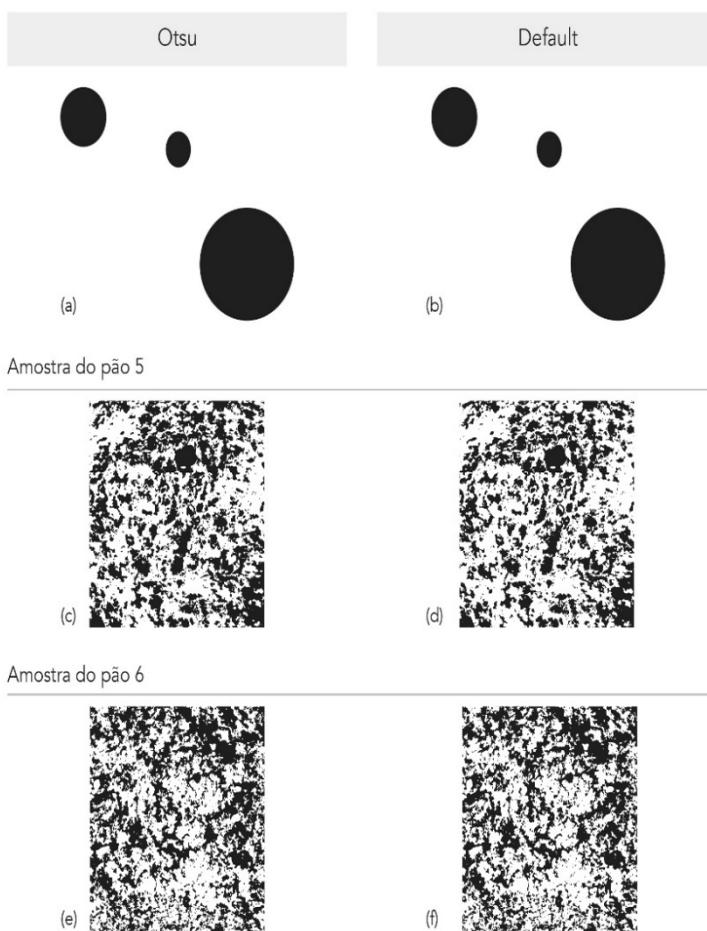
(b) Imagens digitais (40 x 40 mm área do miolo) das amostras de pães.



AM: amostra de pão; FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura;  
 AM 9 = 9 a 14.

A Figura 3 mostra imagens binárias comparando as duas técnicas (Otsu e default). A Figura 3(a) e (b) mostra uma figura básica construída com círculos; a Figura 3(c) e (d), as amostras de pão 5 (24,64FI+1,6SUB), e a Figura 3(e) e (f), o pão 6 (95,35FI+1,6SUB) com a menor e a maior quantidade de farinha de trigo integral na formulação, respectivamente, e as mesmas quantidades de substituto de gordura.

Figura 3 - Imagens binarizadas por Otsu e default.



Na figura básica construída com círculos, Figura 3(a) e (b), não são observadas diferenças entre as duas técnicas, nem visualmente, nem estatisticamente, uma vez que os resultados dos parâmetros calculados foram idênticos, ou seja, número de células (3 objetos), área celular média (29,946 mm<sup>2</sup>), densidade celular (nº 0,100 células/mm<sup>2</sup>) e circularidade (0,918), a partir do algoritmo Otsu e default. Porém, para as amostras de pão 5, Figura 3(c) e (d) e pão 6, Figura 3(e) e (f), podem ser observadas, nas imagens, diferenças entre ambos algoritmos utilizados. Visualmente, há mais áreas com células pretas nas imagens geradas pelo método Otsu, Figura 3(c) e (e) em relação ao método default, Figura 3(d) e (f). Conforme descrito por Gonzales-Barron e Butler (2006), em resultados similares de aplicação de diferentes conversões à imagem binária (*thresholding*), o método Otsu superestima as frações denominadas como células vazias, enquanto que o método default subestima a área celular. Diferenças estatísticas ( $p \leq 0,05$ ) podem ser observadas na Tabela 3, conforme descrito a seguir.

Tabela 3 - Parâmetros da análise de imagem dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura

| Algoritmo Otsu    |                              |                                       |  |                              |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|
| pães              | número de células (objetos)  | área celular média (mm <sup>2</sup> ) | densidade celular (n° célula/mm <sup>2</sup> ) | circularidade                |
| 1                 | 752,67 <sup>a</sup> ± 84,23  | 0,331 <sup>ab</sup> ± 0,059           | 2348,95 <sup>bc</sup> ± 687,62                 | 0,824 <sup>a</sup> ± 0,002   |
| 2                 | 689,00 <sup>ab</sup> ± 87,93 | 0,285 <sup>b</sup> ± 0,082            | 2496,81 <sup>bc</sup> ± 410,10                 | 0,837 <sup>a</sup> ± 0,003   |
| 3                 | 563,33 <sup>b</sup> ± 40,13  | 0,346 <sup>ab</sup> ± 0,029           | 1630,19 <sup>bc</sup> ± 76,87                  | 0,842 <sup>a</sup> ± 0,006   |
| 4                 | 562,00 <sup>b</sup> ± 13,89  | 0,325 <sup>ab</sup> ± 0,042           | 1747,91 <sup>bc</sup> ± 220,57                 | 0,828 <sup>a</sup> ± 0,010   |
| 5                 | 589,67 <sup>ab</sup> ± 73,64 | 0,497 <sup>a</sup> ± 0,062            | 1187,65 <sup>c</sup> ± 96,42                   | 0,821 <sup>a</sup> ± 0,006   |
| 6                 | 682,33 <sup>ab</sup> ± 40,50 | 0,141 <sup>c</sup> ± 0,016            | 4896,98 <sup>a</sup> ± 668,48                  | 0,832 <sup>a</sup> ± 0,004   |
| 7                 | 603,33 <sup>ab</sup> ± 47,06 | 0,212 <sup>b</sup> ± 0,058            | 3012,09 <sup>b</sup> ± 979,34                  | 0,837 <sup>a</sup> ± 0,022   |
| 8                 | 628,67 <sup>ab</sup> ± 72,06 | 0,298 <sup>b</sup> ± 0,114            | 2280,47 <sup>bc</sup> ± 727,22                 | 0,834 <sup>a</sup> ± 0,003   |
| 9-14*             | 568,33 <sup>b</sup> ± 72,50  | 0,323 <sup>ab</sup> ± 0,058           | 1782,57 <sup>bc</sup> ± 266,18                 | 0,815 <sup>a</sup> ± 0,009   |
| Algoritmo Default |                              |                                       |  |                              |
| 1                 | 793,67 <sup>a</sup> ± 91,55  | 0,412 <sup>abc</sup> ± 0,090          | 2009,59 <sup>b</sup> ± 629,48                  | 0,821 <sup>abc</sup> ± 0,000 |
| 2                 | 726,33 <sup>a</sup> ± 100,08 | 0,332 <sup>bcd</sup> ± 0,060          | 2246,91 <sup>b</sup> ± 561,95                  | 0,833 <sup>ab</sup> ± 0,005  |
| 3                 | 577,00 <sup>a</sup> ± 48,59  | 0,397 <sup>abcd</sup> ± 0,020         | 1455,88 <sup>b</sup> ± 145,37                  | 0,827 <sup>abc</sup> ± 0,006 |
| 4                 | 580,00 <sup>a</sup> ± 23,52  | 0,327 <sup>bc</sup> ± 0,056           | 1812,40 <sup>b</sup> ± 338,38                  | 0,826 <sup>abc</sup> ± 0,002 |
| 5                 | 625,67 <sup>a</sup> ± 73,21  | 0,532 <sup>a</sup> ± 0,070            | 1197,23 <sup>b</sup> ± 259,88                  | 0,807 <sup>c</sup> ± 0,007   |
| 6                 | 712,33 <sup>a</sup> ± 23,96  | 0,159 <sup>d</sup> ± 0,045            | 4702,27 <sup>a</sup> ± 1223,48                 | 0,835 <sup>a</sup> ± 0,004   |
| 7                 | 702,67 <sup>a</sup> ± 72,50  | 0,244 <sup>cd</sup> ± 0,072           | 3147,27 <sup>ab</sup> ± 1340,16                | 0,826 <sup>abc</sup> ± 0,019 |
| 8                 | 759,00 <sup>a</sup> ± 135,50 | 0,434 <sup>abc</sup> ± 0,024          | 1740,99 <sup>b</sup> ± 225,71                  | 0,819 <sup>abc</sup> ± 0,003 |
| 9-14*             | 610,67 <sup>a</sup> ± 86,94  | 0,505 <sup>ab</sup> ± 0,118           | 1260,02 <sup>b</sup> ± 352,71                  | 0,810 <sup>bc</sup> ± 0,010  |

Média ± desvio padrão na mesma coluna seguida por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). A amostra do pão 9-14\* representa a média entre as amostras dos pães de 9 a 14.

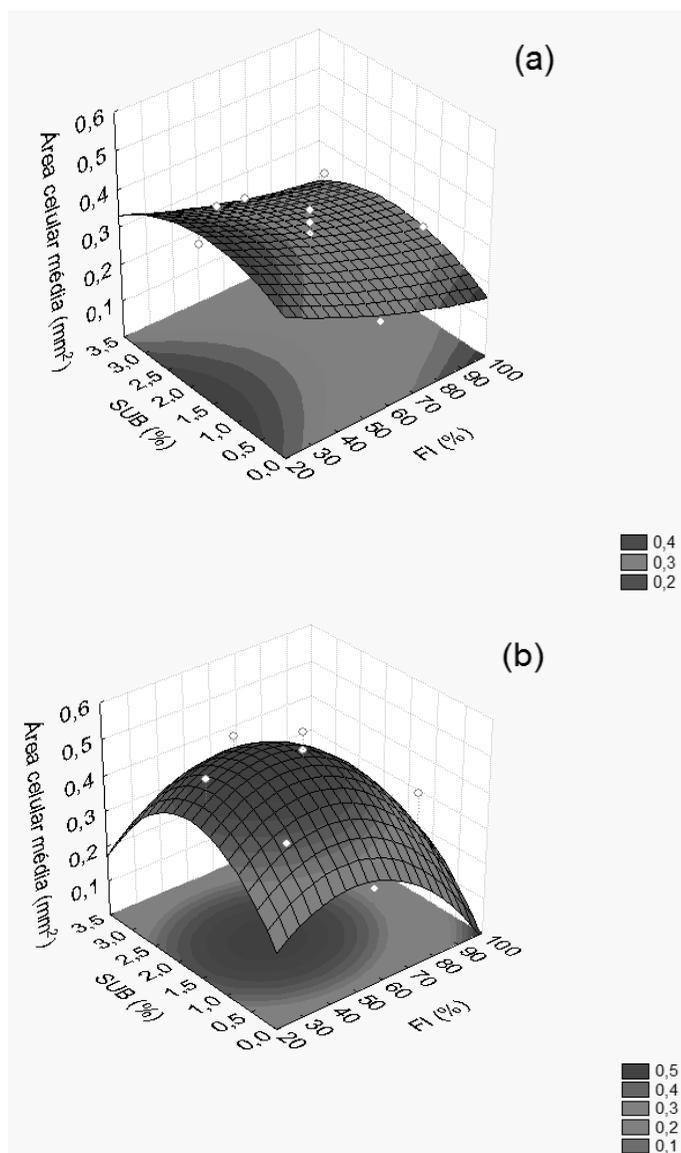
A Tabela 3 mostra que há diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para cada um dos parâmetros estudados: número de células (exceto para default), área celular média, densidade celular e circularidade (exceto para Otsu), comparando as amostras de miolo de pães, independentemente do algoritmo aplicado (Otsu ou default).

Para o parâmetro número de células, no algoritmo Otsu, a amostra de pão 1 (35FI+0,6SUB) possui igual número de células (752,67 objetos,  $p \leq 0,05$ ) que as amostras dos pães 2, 5, 6, 7 e 8, e maior número de células ( $p \leq 0,05$ ) que as amostras dos pães 3, 4 e 9 (Tabela 3). Para o parâmetro número de células, no algoritmo default, não há diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ).

Para o parâmetro área celular média, em ambos algoritmos aplicados, a amostra de pão 5 apresentou valor significativamente ( $p \leq 0,05$ ) igual (Otsu:  $0,497 \text{ mm}^2$  e default:  $0,532 \text{ mm}^2$ ) às amostras dos pães 1, 3 e 9, e maior ( $p \leq 0,05$ ) às amostras dos pães 2, 6 e 7 (Tabela 3). No método Otsu, a amostra de pão 5 possui valor de área celular média igual à amostra de pão 4 ( $p \leq 0,05$ ) e maior ( $p \leq 0,05$ ) que a amostra de pão 8, sendo que no método default, esses resultados estão invertidos (Tabela 3).

O comportamento do parâmetro área celular média, está mostrado nos gráficos de superfície de resposta, Figura 4(a) e (b), método Otsu e default, respectivamente, pode ser observado a partir da variação percentual da farinha de trigo integral e do substituto de gordura, já que a distribuição das células revela informações sobre a estrutura do miolo do pão (POLAKI et al., 2010), a partir do efeito estudado.

Figura 4 - Efeito do teor de farinha de trigo integral e substituto de gordura na área celular média do miolo do pão, (a) Otsu, (b) default.



FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura.

Para o método Otsu, Figura 4(a), a área celular média tem os maiores valores com baixos percentuais tanto em farinha de trigo integral (cerca 20 %) quanto em substituto de gordura (cerca 1,5 %). Já, no método default, Figura 4(b), a área celular média tem maiores valores para percentual de farinha de trigo integral com cerca de 50-60 % e substituto de gordura cerca de 1,5 %. Tanto para o método Otsu quanto para o método default, o melhor percentual de substituto de gordura é de cerca de 1,5 %.

Estatisticamente, a Figura 4(a), método Otsu, representa dados da literatura, em que a área celular média diminui, com o aumento do percentual de farinha de trigo integral, independentemente do percentual de substituto de gordura utilizado. Isso pode ser contextualizado pelo fato da fibra alimentar romper a matriz glúten-amido e restringir a expansão das células gasosas (COLLAR et al., 2006), o que pode ter sido reforçado pela ação do substituto de gordura, já que há estudos que descrevem a influência do tamanho de determinado hidrocolóide na distribuição da matriz de glúten e do tamanho das células gasosas em pães (MANDALA et al., 2007). Diferentes hidrocolóides são incluídos na formulação de pães para melhorar a qualidade (volume específico, firmeza, umidade, vida de prateleira) (BÁRCENAS et al., 2009) e também substituir gordura. A medida que há expansão das células gasosas, há redução da densidade celular (SCANLON; ZGHAL, 2001).

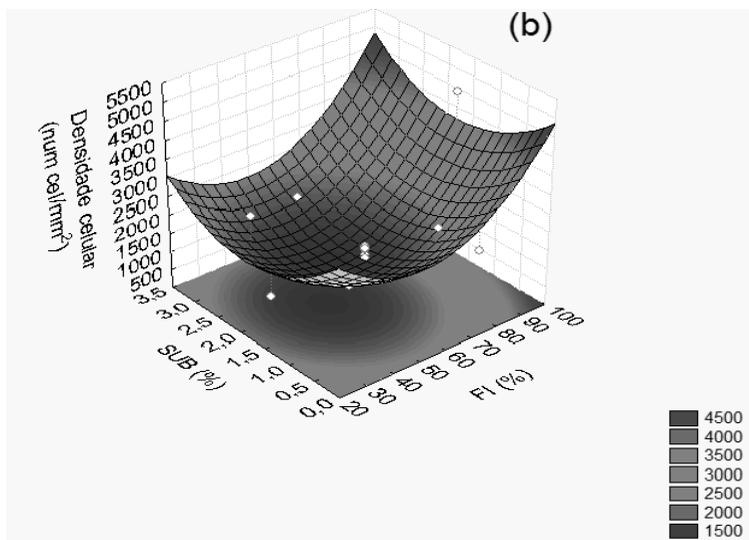
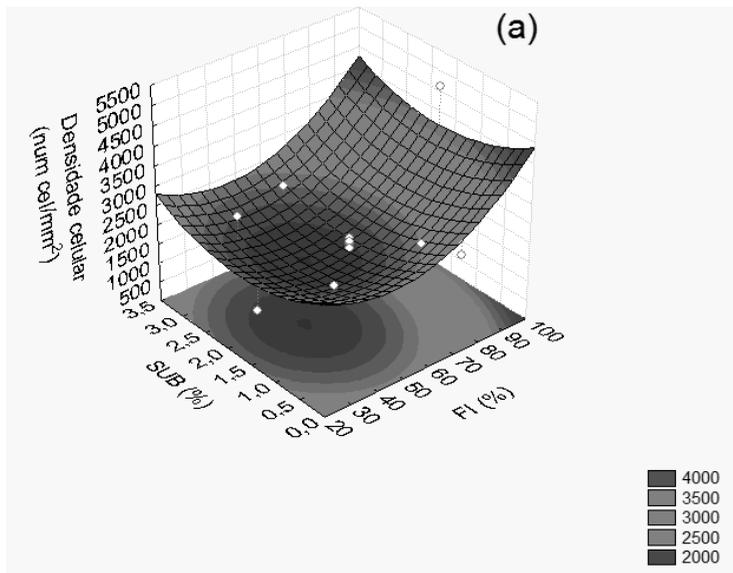
Para o parâmetro densidade celular, o resultado do algoritmo Otsu mostrou que a amostra de pão 6 possui maior valor ( $4896,98 \text{ n}^\circ \text{ célula/mm}^2$ ,  $p \leq 0,05$ ) perante todas as outras amostras. A amostra 6 corresponde ao pão com maior quantidade de farinha de trigo integral (95,35FI+1,6SUB), e o maior valor de densidade celular, pode ser explicado pelo fato das fibras causarem efeito de diluição da matriz glúten-amido, o que pode restringir a retenção de gás. Em trabalho similar com pão integral de aveia, o mesmo foi demonstrado por Polaki e colaboradores (2010). Para o parâmetro densidade celular, nos resultados do algoritmo default, a amostra de pão 6 apresentou valor igual ( $4702,27 \text{ n}^\circ \text{ célula/mm}^2$ ,  $p \leq 0,05$ ) à amostra do pão 7, e maior ( $p \leq 0,05$ ) que todas as outras (Tabela 3).

Tanto no método Otsu quanto no default (Tabela 3), nos maiores teores de farinha de trigo integral foram observados os maiores valores do parâmetro densidade celular e os menores valores de área celular média, o que está de acordo com resultados obtidos por Farrera-Rebollo e colaboradores (2012), em pães elaborados com farinha de chia. À medida que aumentaram os teores de farinha de trigo integral e de

substituto de gordura, os resultados apresentaram maiores valores para o parâmetro densidade celular e menores valores para área celular média, descritos como atributos de textura, o que está condizente com trabalho similar de pães elaborados com cereais integrais (HRUSKOVA et al., 2012).

Na Figura 5(a) e (b), pode ser observado pelos gráficos de superfície de resposta, comportamento similar do parâmetro densidade celular, a partir da variação percentual da farinha de trigo integral e do substituto de gordura, para os métodos Otsu e default. A densidade celular exerce forte influência sobre as propriedades mecânicas do miolo do pão, permitindo, então, comparar esse alimento, com outras matérias-primas e condições de processamento (SCANLON; ZGHAL, 2001).

Figura 5 - Efeito do teor de farinha integral e substituto de gordura na densidade celular do miolo do pão, (a) Otsu, (b) default.



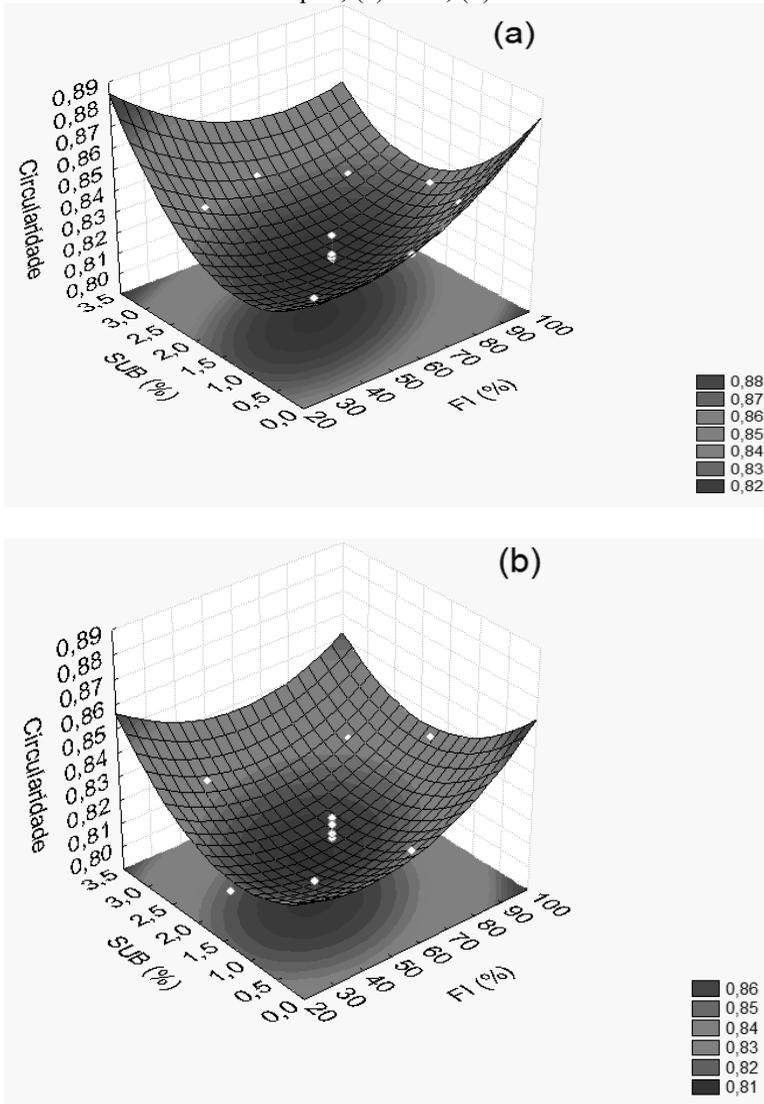
FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura.

Tanto para o método Otsu, Figura 5(a), quanto para o default, Figura 5(b), a variável densidade celular foi influenciada pelo teor de farinha de trigo integral e substituto de gordura, sendo que os menores valores de densidade celular, para ambos os métodos, foram encontrados com cerca de 40-50 % de farinha de trigo integral e 2 % de substituto de gordura. Os resultados destes gráficos, vão de encontro com os resultados de área celular média, para os métodos Otsu e default, respectivamente, Figura 4(a) e (b).

Aplicando-se o algoritmo Otsu (Tabela 3), não foi observada diferença significativa para o parâmetro circularidade celular, entre as amostras de pão, o que está de acordo com Rosell e Santos (2010) em pães elaborados com diferentes hidrocolóides. No entanto, usando o algoritmo default, o parâmetro circularidade apresentou diferenças significativas: a amostra do pão 6 (0,835) mostrou ser maior ( $p \leq 0,05$ ) que as amostras dos pães 5 (0,807) e 9 (0,810) e também, a amostra de pão 5 (0,807) mostrou ser menor ( $p \leq 0,05$ ) do que a amostra do pão 2 (0,833). Em ambos os métodos, Otsu e default, foi observado que o parâmetro circularidade possui valores a partir de 0,8, muito próximos a um círculo perfeito.

Nos gráficos de superfície de resposta, Figura 6(a) e (b), em ambos os métodos, (Otsu e default), foi observado que tanto a variação percentual da farinha de trigo integral, quanto do substituto de gordura, influenciaram a circularidade das células do miolo dos pães.

Figura 6 - Efeito do teor de farinha integral e substituto de gordura na circularidade do miolo do pão, (a) Otsu, (b) default.



FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura.

Considerando-se a quantidade percentual de células, em cada faixa de intervalo da área das células, para cada amostra (Tabela 3), foi observado que tanto para o método Otsu, quanto para o método default, a maioria das células são caracterizadas por área celular pequena (área < 0,1 mm<sup>2</sup>). Além disso, para a amostra do pão 6, cerca de 84-85 % das células são enquadradas nessa mesma faixa (área < 0,1 mm<sup>2</sup>) e para as demais amostras de pão, cerca de 91-97 % das células são pequenas (Tabela 3). A amostra de pão 6 é a única em que o máximo intervalo da área celular está compreendido na faixa de 3,2 - 6,4 mm<sup>2</sup>. Justificável pelo fato da amostra de pão 6 possuir maior percentual de farinha de trigo integral (95,35FI), pois a presença de fibras dificulta a formação de bolhas de ar da rede viscoelástica de glúten, o que está de acordo com estudos anteriores (POMERANZ et al., 1977), em que a adição de material fibroso à farinha de trigo, enfraquece a estrutura celular do miolo do pão, diluindo a rede proteica do glúten. Segundo Dubois (1978), são principalmente as frações insolúveis em água que prejudicam a retenção de gás da massa, alterando, assim, a textura e a aparência do pão.

A partir da Tabela 3, para cada um dos métodos estudados (Otsu e default), foi observado que a variação percentual do substituto de gordura entre as amostras de pães (1 e 2; 3 e 4; 7, 8 e 9 a 14) com mesmo percentual de farinha de trigo integral (Tabela 1), não sinalizaram diferenças relevantes na quantidade percentual de células em cada faixa de área das células. Isso demonstra, provavelmente, que a farinha de trigo prepondera sobre o comportamento do substituto de gordura, que deveria atuar como gordura. Segundo Mouliney e colaboradores (2011), pães elaborados com farinha de trigo branca e baixos teores de gordura (0,1 e 0,3 % do peso da farinha) resultaram em produtos macios com maior volume. Esse mesmo estudo mostrou que há aumento progressivo do volume de pães, à medida que há elevação dos níveis de gordura até 2 % do peso da farinha de trigo branca. Assim, a função da gordura nos pães é a estabilização das bolhas de ar da massa resultando em maior retenção de gás durante o assamento (GOESAERT et al., 2005), já que a gordura adicionada previne a ligação dos lipídeos nativos da farinha à rede de glúten, estabilizando, assim as proteínas durante o aquecimento da massa do pão (MOULINEY et al., 2011).

Tabela 4 - Quantidade de células para cada amostra de pão elaborado (%)

| Área das células<br>(mm <sup>2</sup> ) | Método  | Quantidade de células (%) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|---------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  |         | Amostra de pão            |     |     |     |     |     |     |     |     |
|  |         | 1                         | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| ┆0,1                                   | Otsu    | 94                        | 96  | 97  | 95  | 93  | 85  | 94  | 94  | 92  |
|  | Default | 97                        | 94  | 97  | 94  | 91  | 84  | 92  | 93  | 92  |
| 0,1 ┆0,2                               | Otsu    |                           |     |     |     |     | 7   | 2   |     |     |
|  | Default |                           |     |     |     |     | 7   | 3   |     |     |
| 0,2 ┆0,4                               | Otsu    |                           |     |     |     |     |     |     |     |     |
|  | Default |                           |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0,4 ┆0,8                               | Otsu    |                           |     |     |     |     | 6   |     |     |     |
|  | Default |                           |     |     |     |     | 6   |     |     |     |
| 0,8 ┆1,6                               | Otsu    | 4                         | 1   | 1   | 4   | 3   | 1   | 2   | 3   | 3   |
|  | Default |                           | 1   |     | 3   | 3   | 2   | 2   | 3   | 3   |
| 1,6 ┆3,2                               | Otsu    | 1                         | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 2   | 2   |
|  | Default | 1                         | 1   | 1   | 2   | 4   | 0,4 | 1   | 2   | 3   |
| 3,2 ┆6,4                               | Otsu    | 1                         | 1   | 1   |     | 2   | 0,3 | 1   |     | 2   |
|  | Default | 1                         | 1   | 1   |     | 2   | 0,3 | 1   | 1   | 1   |
| 6,4 ┆12,8                              | Otsu    | 0,1                       | 0,1 |     | 0,2 | 0,5 |     | 0,7 | 0,3 | 0,7 |
|  | Default | 0,4                       | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 1   |     | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| 12,8 ┆25,6                             | Otsu    | 0,1                       |     | 0,7 |     | 0,3 |     |     | 0,3 |     |
|  | Default | 0,1                       |     | 0,5 | 0,3 |     |     | 0,1 | 0,7 |     |
| 25,6 ┆50,2                             | Otsu    | 0,4                       | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |     | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
|  | Default | 0,4                       | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 |     |     | 0,2 | 0,4 |

Em relação à distribuição de frequência nos diferentes intervalos, somente as amostras dos pães 6 (7 %) e 7 (2 a 3 %) apresentaram células com área média celular no intervalo 0,1 - 0,2 mm<sup>2</sup>, para ambos os métodos (Tabela 4).

A Tabela 4 mostra que nenhuma amostra possui células no intervalo 0,2 - 0,4 mm<sup>2</sup> e que somente a amostra de pão 6 possui células no intervalo 0,4 - 0,8 mm<sup>2</sup>, para ambos os métodos, Otsu e default. Além disso, foi observado comparando-se o método Otsu e default entre as amostras de pães, que para os intervalos a partir de 0,8 a 50,2 mm<sup>2</sup> podem ser constatadas pequenas diferenças e variações percentuais na

quantidade de células.

A Tabela 5 mostra os valores de área celular mínima e máxima, para as amostras de pães, em ambos os métodos. A área celular mínima teve valor idêntico ( $0,007 \text{ mm}^2$ ) para todas as amostras de pães, usando método Otsu e default. E, para os valores de área celular máxima não foram observadas diferenças ( $p \leq 0,05$ ) aplicando-se os métodos Otsu ou default. No entanto, convém ressaltar os resultados das amostras de pão 6 e 1. A amostra de pão 6, que foi elaborada com 95,35FI, apresentou valor da área celular máxima com cerca de  $5 \text{ mm}^2$ , enquanto que, para as demais amostras os valores da área celular máxima, enquadraram-se no intervalo  $31 - 72 \text{ mm}^2$ . Enquanto que, para a amostra de pão 1, a área celular máxima obteve valor  $31,096 \text{ mm}^2$  para o método Otsu e  $71,245 \text{ mm}^2$  aplicando-se o método default.

Tabela 5- Área celular mínima e máxima do miolo dos pães elaborados

| pães    | Área celular mínima ( $\text{mm}^2$ ) |                     | Área celular máxima ( $\text{mm}^2$ ) |                       |
|---------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|
|         | Otsu                                  | Default             | Otsu                                  | Default               |
| 1       | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $31,096^a \pm 12,707$                 | $71,245^a \pm 52,213$ |
| 2       | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $55,852^a \pm 7,557$                  | $51,290^a \pm 11,039$ |
| 3       | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $53,111^a \pm 0,000$                  | $51,842^a \pm 0,000$  |
| 4       | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $58,236^a \pm 0,710$                  | $42,929^a \pm 18,341$ |
| 5       | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $53,519^a \pm 12,924$                 | $46,918^a \pm 16,268$ |
| 6       | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $5,622^a \pm 0,066$                   | $5,562^a \pm 0,019$   |
| 7       | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $39,148^a \pm 16,847$                 | $36,866^a \pm 16,020$ |
| 8       | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $72,320^a \pm 72,242$                 | $56,437^a \pm 14,282$ |
| 9 - 14* | $0,007^a \pm 0,000$                   | $0,007^a \pm 0,000$ | $46,381^a \pm 4,612$                  | $36,400^a \pm 1,971$  |

Média  $\pm$  desvio padrão na mesma coluna seguida por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). A amostra do pão 9-14\* representa a média entre as amostras dos pães de 9 a 14.

Para os valores de dimensão fractal (Tabela 6), não houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras, sendo que os valores foram de 1,7882 a 1,8026, podendo ser considerados uma superfície (valor próximo a 2), se o valor for arredondado.

Tabela 6 - Dimensão fractal relativa ao miolo dos pães elaborados

| pães  | dimensão fractal           |
|-------|----------------------------|
| 1     | 1,796 <sup>a</sup> ± 0,048 |
| 2     | 1,794 <sup>a</sup> ± 0,048 |
| 3     | 1,800 <sup>a</sup> ± 0,048 |
| 4     | 1,799 <sup>a</sup> ± 0,048 |
| 5     | 1,788 <sup>a</sup> ± 0,048 |
| 6     | 1,803 <sup>a</sup> ± 0,048 |
| 7     | 1,794 <sup>a</sup> ± 0,048 |
| 8     | 1,798 <sup>a</sup> ± 0,048 |
| 9-14* | 1,788 <sup>a</sup> ± 0,048 |

Média ± desvio padrão na mesma coluna seguida por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). A amostra do pão 9-14\* representa a média entre as amostras dos pães de 9 a 14.

Material poroso, como o pão, pode ser descrito como uma superfície rugosa que remete a um sólido, com dimensão fractal compreendida entre 2 e 3 (FARRERA-REBOLLO et al., 2012). O maior valor absoluto foi para a amostra do pão 6, o que indica que o pão elaborado com 95,35FI e 1,6SUB tem estrutura do miolo mais complexa e rugosa, o que está de acordo com Pérez-Nieto e colaboradores (2010). Os mesmos autores, avaliando mudanças estruturais na análise de imagem de pães durante o processo de assamento, concluíram que valores de dimensão fractal elevados podem caracterizar imagens com textura fractal rugosa, e que os valores da dimensão fractal seguem tendência crescente, similar à densidade celular.

#### 4.4 CONCLUSÃO

Comparando-se os resultados dos parâmetros, para as amostras estudadas, a partir de ambos os algoritmos aplicados, foi observado que com o método Otsu, houveram mais áreas com células nas imagens geradas; o parâmetro número de células apresentou diferença estatística; a área celular média diminuiu, com o aumento do percentual de farinha de trigo integral, independentemente do percentual de substituto de gordura utilizado; o parâmetro densidade celular da amostra de pão 6, com maior quantidade de farinha de trigo integral (95,35FI+1,6SUB), apresentou maior valor perante todas as outras amostras.

Os resultados da imagem a partir dos algoritmos de binarização escolhidos, podem ser usados para investigar, aproximar e predizer diferentes propriedades dos pães.

Em suma, o método Otsu demonstrou mais fidedignamente a estrutura do miolo dos pães analisados, e por isso, é o mais indicado à representatividade estrutural.

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro - TR 2012000008 (ANEXO A).

**REFERÊNCIAS**

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of Analysis**, 10<sup>th</sup>, Ed. Approved November 8, 2000. AACC International, St Paul, MN, U.S.A.

ALMEIDA, E. L.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 545-553, 2013.

BÁRCENAS, M. E.; O-KELLER, J. D.; ROSELL, C. M. Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 241-247, 2009.

BARRETT, A.; PELEG, M. Applications of fractal analysis to food structure. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 553-563, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação Geral da Política de Alimentação e Nutrição. **Guia alimentar para população brasileira. Série A. Normas e manuais técnicos**. Brasília, 2005.

CHOE, J.; KIM, H.; LEE, J.; KIM, Y.; KIM, C. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. **Meat Science**, v. 93, p. 849-854, 2013.

CHOY, A.; MAY, B. K.; SMALL, D. M. The effects of acetylated potato starch and sodium carboxymethyl cellulose on the quality of instant fried noodles. **Food Hydrocolloids**, v. 26, p. 2-8, 2012.

CLARKE, C. I.; SCHOBER, T. J.; ANGST, E.; ARENDT, E. K. Use of response surface methodology to investigate the effects of processing conditions on sourdough wheat bread quality. **European Food Research and Technology**, v. 217, p. 23-33, 2003.

COLLAR, C.; ANDREU, P.; MARTÍNEZ, J. C.; ARMERO, E. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. **Food Hydrocolloids**, v. 123 p. 467-475, 1999.

COLLAR, C.; SANTOS, E.; ROSELL, C. M. Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 820-826, 2007.

COLLAR, C.; SANTOS, E.; ROSELL, C. M. Significance of dietary fiber on the viscometric pattern of pasted and gelled flour-fiber blends. **Cereal Chemistry**, v. 83 p. 370-376, 2006.

CROWLEY, P.; GRAU, H.; ARENDT, E. K. Influence of additives and mixing time on crumb grain characteristics of wheat bread-making. **Cereal Chemistry**, v. 77, n.3, p. 370-375, 2000.

DUBOIS, D. K. Practical application of fibre materials in bread production. **The Bakers Digest**, v. 52, n.2, p. 30-33, 1978.

FALCONE, P. M.; BAIANO, A.; ZANINI, F.; MANCINI, L.; TROMBA, G.; DREOSSI, D.; MONTANARI, F.; SCUOR, N.; NOBILE, M. A. D. Three-dimensional quantitative analysis of bread crumb by x-ray microtomography. **Food Engineering and Physical Properties**, v. 70, n.3, p. E265-E272, 2005.

FARRERA-REBOLLO, R. R.; SALGADO-CRUZ, M. P.; CHANONA-PÉREZ, J.; GUTIÉRREZ-LOPES, G. F.; ALAMILLA-BELTRÁN, L.; CALDERÓN-DOMINGUEZ, G. Evaluation of image analysis tools for characterization of sweet bread crumb structure. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, p. 474-484, 2012.

FLANDER, L.; SALMENKALLIO-MARTTILA, M.; SUORTTI, T.; AUTIO, K. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, p. 860-870, 2007.

GHODKE, S. K.; ANANTHANARAYAN, L.; RODRIGUES, L. Use of response surface methodology to investigate the effects of milling conditions on damaged starch, dough stickiness and chapatti quality. **Food Chemistry**, v. 112, p. 1010-1015, 2009.

GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C.

M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 1, p. 12-30, 2005.

GONZALES-BARRON, U.; BUTLER, F. Fractal texture analysis of bread crumb digital images. **European Food Research and Technology**, v. 226, p. 721-729, 2008.

GONZALES-BARRON, U.; BUTLER, F. A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2, p. 268-278, 2006.

HEIMAN, A.; LOWENGART, O. Calorie information effects on consumers' food choice: sources of observed gender heterogeneity. **Journal of Business Research**, v. 67, p. 964-973, 2014.

HELLYER, N. E.; FRASER, I.; HADDOCK-FRASER, J. Food choice, health information and functional ingredients: an experimental auction employing bread. **Food Policy**, v. 37, p. 232-245, 2012.

HERBERT, A. ImageJ colocalisation plugins. **ImageJ**. Disponível em <<http://www.sussex.ac.uk/gdsc/intranet/pdfs/Colocalisation.pdf>> Acessado em 21 de maio de 2014.

HRUSKOVA, M.; SVEC, I.; HOFMANOVA, T.; DVORAKOVA, J. Image analysis – comparison of recipe composition effect. **Procedia Engineering**, v. 42, p. 955-963, 2012.

JACKMAN, P.; SUN, D. Recent advances in image processing using image texture features for food quality assessment. **Trends in Food Science and Technology**, v. 29, p. 35-43, 2013.

KIHLBERG, I.; JOHANSSON, L.; KOHLER, A.; RISVIK, E. Sensory qualities of whole wheat pan bread—influence of farming system, milling and baking technique. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 67-84, 2004.

LODI, A.; VODOVOTZ, Y. Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond. **Cereal Chemistry**,

v. 110, p. 554-561, 2008.

MA, Y.; CAI, C.; WANG, J.; SUN, D. Enzymatic hydrolysis of corn starch for producing fat mimetics. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 297-303, 2006.

MANDALA, I.; KARABELA, D.; KOSTAROPOULOS, A. Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature. I. Effect of chilling. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 1397-1406, 2007.

MEYER, D.; BAYARRI, S.; TÁRREGA, A.; COSTELL, E. Inulin as texture modifier in dairy products. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1881-1890, 2011.

MONDAL, A.; DATTA, A. K. Bread baking – a review. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 465-474, jun/2008.

MONTGOMERY, D. C. **Diseño y análisis de experimentos**. Trad. Jaime Delgado Saldivar. México: Iberoamérica, 1991. 651 p.

MOULINEY, M.; LAVERY, B.; SHARMA, R.; JENNER, C. Waxy durum and fat differ in their actions as improvers of bread quality. **Journal of Cereal Science**, v. 54, p. 317-323, 2011.

ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. 2013. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

OTSU, N. A threshold selection method from grey-level histograms. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 9, n.1, p. 62-66, 1979.

OZKOC, S. O.; SUMNU, G.; SAHIN, S. The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 2182-2189, 2009.

PAPIES, E. K.; VELING, H. Healthy dining. Subtle diet reminders at the point of purchase increase low-calorie food choices among both chronic and current dieters. **Appetite**, v. 61, p. 1-7, 2013.

PÉREZ-NIETO, A.; CHANONA-PÉREZ, J. J.; FARRERA-REBOLLO, R. R.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; ALAMILLA-BELTRÁN, L.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G. Image analysis of structural changes in dough during baking. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, p. 535-543, 2010.

POLAKI, A.; XASAPIS, P.; FASSEAS, C.; YANNIOTIS, S.; MANDALA, I. Fiber and hydrocolloid content affect the microstructural and sensory characteristics of fresh and frozen stored bread. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 1-7, 2010.

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.

POURFARZAD, A.; MAHDAVIAN-MEHR, H.; SEDAGHAT, N. Coffee silverskin as a source of dietary fiber in bread-making: optimization of chemical treatment using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 599-606, 2013.

PRATS-MONTALBÁN, J. M.; JUAN, A.; FERRER, A. Multivariate image analysis: a review with applications. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 107, p. 1-23, 2011.

QING-GUO, H.; MIN, Z.; MUJUMDAR, A. S.; WEI-HUA, D.; JIN-CAI, S. Effect of different drying methods on the quality changes of granular edamame. **Drying Technology**, v. 24, p. 1025–1032, 2006.

RAMÍREZ, C.; YOUNG, A.; JAMES, B.; AGUILERA, J. M. Determination of a representative volume element based on the variability of mechanical properties with sample size in bread. **Journal of Food Science**, v. 75, n.8, p. E516-E521, 2010.

RIDLER, T. W.; CALVARD, S. Picture thresholding using an iterative selection method. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 8, p. 630-632, 1978.

ROSELL, C. M.; SANTOS, E. Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. **Journal of Food**

**Engineering**, v. 98, p. 273-281, 2010.

SAHOO, P. K.; SOLTANI, S; WONG, K. C. A survey of thresholding techniques. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, v. 41, p. 233-260, 1988.

SANDROU, D. K.; ARVANITTOYANNIS, I. S. Low-fat/calorie foods: current state and perspectives. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 40, n. 5, p. 427-447, 2000.

SANZ-PENELLA, J. M.; WRONKOWSKA, M.; SORAL-SMIETANA, M.; HAROS, M. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, p. 679-685, 2013.

SARDINHA, A. N.; CANELLA, D. S.; MARTINS, A. P. B.; CLARO, R. M.; LEVY, R. B. Dietary sources of fiber intake in Brazil. **Appetite**, v. 79, p. 134-138, 2014.

SCANLON, M. G.; ZGHAL, M. C. Bread properties and crumb structure. **Food Research International**, v. 34, p. 841-846, 2001.

SCHEUER, P. M.; MATTIONI, B.; BARRETO, P. L. M.; MONTENEGRO, F. M.; GOMES-RUFFI, C. R.; BIONDI, S.; KILPP, M.; FRANCISCO, A. Effects of fat replacement on properties of whole wheat bread. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 50, n. 4, p. 703-712, 2014.

SEYER, M.; GÉLINAS, P. Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 688-693, 2009.

SKENDI, A.; BILIADERIS, C. G.; PAPAGEORGIOU, M.; IZYDORCZYK, M. S. Effects of two barley beta-glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1159-1167, 2010.

STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, v. 21, p. 65-66, 1926.

SUDHA, M. L.; VETRIMANI, R.; LEELAVATHI, K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. **Food Chemistry**, v. 100, p. 1365-1370, 2007.

TORRI, L.; MIGLIORINI, P.; MASOERO, G. Sensory test vs. electronic nose and/or image analysis of whole bread produced with old and modern wheat varieties adjuvanted by means of the mycorrhizal factor. **Food Research International**, v. 54, p. 1400-1408, 2013.

TRUSWELL, A. S. Cereal grains and coronary heart disease. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 56, n. 1, p. 1-14, 2002.

VOLPINI-RAPINA, L. F.; SOKEI, F. R.; CONTI-SILVA, A. C. Sensory profile and preference mapping of orange cakes with addition of prebiotics inulin and oligofrutose. **LWT – Food Science and Technology**, v. 48, p. 37-42, 2012.

VUHOLM, S.; JAKOBSEN, L. M. A.; SORENSEN, K. V.; KEHLET, U.; RABEN, A.; KRISTENSEN, M. Appetite and food intake after consumption of sausages with 10 % fat and added wheat or rye bran. **Appetite**, v. 73, p. 205-211, 2014.

WU, Y.; LIN, Q.; CHEN, Z.; WU, W.; XIAO, H. Fractal analysis of the retrogradation of rice starch by digital image processing. **Journal of Food Engineering**, v. 109, p. 182-187, 2012.

ZAHN, S.; PEPKE, F.; ROHM, H. Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, p. 2531-2537, 2010.

ZGHAL, M. C.; SCANLON, M. G.; SAPIRSTEIN, H. D. Prediction of bread crumb density by digital image analysis. **Cereal Chemistry**, v. 76, n.5, p. 734-742, 1999.

ZOULIAS, E. I.; OREOPOULOU, V.; TZIA, C. Textural properties of low-fat cookies containing carbohydrate- or protein-based fat replacers. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 337-342, 2002.

**CAPÍTULO 5****RELAÇÃO ENTRE PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL E SENSORIAL DE PÃES ELABORADOS COM FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E SUBSTITUTO DE GORDURA**

Artigo completo publicado “Relationship between instrumental and sensory texture profile of bread loaves made with whole-wheat flour and fat replacer”. *Journal of Texture Studies*. 2015, *in-press* (APÊNDICE G).

Parte deste trabalho foi apresentado na forma de banner no *XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Aracajú - Sergipe, Setembro de 2014 (APÊNDICE H).

## **RELAÇÃO ENTRE PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL E SENSORIAL DE PÃES ELABORADOS COM FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E SUBSTITUTO DE GORDURA**

### **RESUMO**

A textura caracteriza a qualidade dos alimentos durante o processamento e o consumo, podendo ser medida instrumental ou sensorialmente. Este trabalho teve como objetivo: medir os atributos de textura, do miolo de 14 pães integrais elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura, usando método instrumental e painel sensorial com avaliadores treinados; e determinar a correlação entre a avaliação instrumental e sensorial. Os dados de textura instrumental e sensorial foram, individualmente, submetidos à análise de variância e relacionados usando Análise de Componentes Principais. As análises mostraram que, tanto para a avaliação instrumental quanto sensorial, os pães menos firmes, mais elásticos e mais coesivos possuem < 60 % farinha de trigo integral, independentemente do teor de substituto de gordura. O atributo firmeza, medido com texturômetro, condiz com os resultados de outros trabalhos publicados e representa a avaliação sensorial realizada, pois a matriz apresentou coeficientes de correlação com valores elevados.

**Palavras-chave:** Avaliador treinado. Análise de componentes principais.

**RELATIONSHIP BETWEEN INSTRUMENTAL AND SENSORY  
TEXTURE PROFILE OF BREAD LOAVES MADA WITH  
WHOLE-WHEAT FLOUR AND FAT REPLACER**

**ABSTRACT**

Food texture is one of the most widely measured quality attributes during processing and consumption, being measured by instrumental and sensory means. The aims of this study were: to measure textural parameters of the crumb of 14 whole wheat bread loaves made with whole-wheat flour and fat replacer using instrumental methods and a sensory trained panel; and to determine the relationship between instrumental and sensory assessments. The data of instrumental and sensory texture were individually subjected to analysis of variance and correlated using Principal Component Analysis. The analyzes showed that for both, the less firm, more elastic and more cohesive bread loaves have < 60 % whole-wheat flour, regardless of the content of fat replacer. The hardness attribute, measured with a texturometer, was consistent with the results of other published works and with our sensory evaluation, since the matrix showed correlation coefficients with high values.

**Keywords:** Sensory trained panel. Principal component analysis.

## 5.1 INTRODUÇÃO

A textura dos alimentos é um dos atributos de qualidade amplamente avaliada durante o processamento e o consumo (CHEN; OPARA, 2013), podendo ser medida por meio de testes objetivos (instrumentais) ou subjetivos (sensoriais) (SZCZESNIAK, 1963).

Dentre os testes instrumentais, há destaque para o uso de texturômetro, que imita a mastigação e apresenta excelentes correlações com avaliações sensoriais de textura (SZCZESNIAK, 1963). Por isso, esse tipo de equipamento tem sido amplamente usado para medir a textura de diferentes tipos de alimentos, já que as medidas instrumentais são geralmente mais fáceis de realizar e possuem custo reduzido. Isso representa uma alternativa interessante para a medição da textura, fornecendo dados instrumentais que podem estar relacionados com a descrição sensorial. Por exemplo, medidas instrumentais podem ser usadas para monitorar a qualidade dos pães durante o processamento e o armazenamento (LASSOUED et al., 2008).

Com relação à análise sensorial, as características percebidas na boca incluem atributos mecânicos (relacionados à reação da força aplicada), geométricos (relacionados ao tamanho, forma e orientação das partículas no interior dos alimentos) e atributos relacionados à percepção do conteúdo de umidade ou de lipídeos (SZCZESNIAK, 2002). A avaliação sensorial é raramente usada na indústria de panificação, principalmente por causa do custo, do tempo necessário para treinar pessoal, do tempo de gerenciamento do painel sensorial, das dificuldades de execução de avaliação sensorial de pães feitos em escala de laboratório (LASSOUED et al., 2008).

A segurança e precisão de um método objetivo para medir um atributo de qualidade dos alimentos é determinada pela sua relação com a avaliação sensorial do atributo (KOKINI, 1985). As relações entre as medidas instrumentais e sensoriais de textura resultam em: (1) encontrar instrumentos para medir o controle de qualidade de alimentos nas indústrias; (2) prever a resposta do consumidor, como o grau que gosta e a aceitação global de um novo produto; (3) a compreensão do que está sendo sentido e percebido na boca durante a avaliação sensorial de textura; (4) a melhoria ou otimização de métodos instrumentais que complementam a avaliação sensorial (SZCZESNIAK, 1987).

Os objetivos deste estudo foram: (1) medir os atributos de textura, do miolo dos 14 pães integrais elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura, usando método instrumental e painel

sensorial com avaliadores treinados, (2) determinar a relação entre a avaliação instrumental e sensorial.

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1 MATERIAL**

O estudo foi realizado com amostras comerciais de farinha de trigo integral (FI – proveniente do grão de trigo moído inteiro) e branca (FB), obtidas a partir do mesmo lote de trigo, da safra 2012, cedidas pela Cooperativa Agrária Agroindustrial, de Guarapuava, Paraná - Brasil. Essas farinhas foram estocadas a -18 °C, até o momento das análises. Visando favorecer a uniformização e o estudo das variáveis dependentes, foram empregadas uma amostra representativa de cada tipo de farinha (FI e FB).

Foi usado como substituto de gordura (SUB), seguindo as orientações do fabricante, amido de milho modificado por conversão enzimática, indicado comercialmente para a elaboração de pães, cedido pela *Dutch Starches International* – DSI, Holanda, com nome comercial Selectamylx C150.

### **5.2.2 MÉTODOS**

#### **5.2.2.1 Elaboração dos pães**

Para elaboração dos pães foram preparadas misturas de farinha de trigo integral (FI) e farinha de trigo branca (FB), sendo as amostras codificadas conforme Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), de acordo com o percentual utilizado: 95,35FI (95,35FI+4,65FB); 85FI (85FI+15FB); 60FI (60FI+40FB); 35FI (35FI+65FB); 24,64FI (24,64FI+75,36FB).

Os pães foram elaborados em escala piloto, com escolha aleatória da amostra, em duas determinações, seguindo o método nº 10-10B, de panificação direta (AACC, 2000), com adaptações. As massas foram fermentadas por 60 minutos, empregando a seguinte fórmula padrão: farinha de trigo (100 %), açúcar (6 %), fermento biológico instantâneo (1,8 %), cloreto de sódio (1,5 %), gordura (3 %) e água potável (FLANDER et al., 2007). No lugar da gordura indicada pelo método, foi utilizado substituto de gordura. A quantidade de água adicionada em cada formulação foi de 86 % do valor de absorção de água da farinha de trigo

da análise farinográfica, com metodologia adaptada a partir de Seyer e Gélinas (2009). Os ingredientes foram misturados em masseira de velocidade rápida (Líder, Modelo RPD 25, Curitiba, Brasil) durante 6 minutos (FLANDER et al., 2007; ORO, 2013). A temperatura da massa após o batimento foi de 28 a 29 °C. O crescimento de porções de 500 gramas de massa crua, aconteceu em câmara de fermentação (Perfecta, Modelo CFC20, Curitiba, Brasil) a  $30\pm 1$  °C, 85 % de umidade relativa, durante 35 minutos. A massa foi laminada manualmente com rolo, duas vezes e colocada para fermentar durante 17 minutos, e a seguir por mais 8 minutos. Logo após, as massas dos pães foram modeladas em formato rocambole, colocadas em forma retangular de alumínio forrada com papel manteiga (9,5 cm x 20 cm x 4,5 cm) e fermentadas durante 24 minutos. Os pães foram assados em forno elétrico (Líder, Modelo Ventile, Curitiba, Brasil) a 180 °C, durante 24 minutos e resfriados durante 1 hora sob grades metálicas à temperatura ambiente.

#### **5.2.2.2 Delineamento experimental**

O experimento foi conduzido conforme Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com dois fatores (variáveis independentes), sendo % de farinha de trigo integral (FI) e % de substituto de gordura (SUB).

O DCCR totalizou 14 experimentos, sendo: 4 tratamentos fatoriais completos  $2^2$ , cada experimento com dois níveis, codificados como -1 e +1; 4 tratamentos axiais codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ , onde  $\alpha=(2^2)^{1/4} = 1,414$ ; 1 tratamento no ponto central repetido seis vezes, para estimar o erro puro ou experimental (serve também para calcular a reprodutibilidade do método, neste todos os fatores estão codificados como zero).

Os níveis das variáveis têm seus valores mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis e níveis de variação do delineamento experimental

| Variáveis | Níveis    |       |       |       |           |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-----------|
|           | $-\alpha$ | -1    | 0     | +1    | $+\alpha$ |
| x         | 24,64     | 35,00 | 60,00 | 85,00 | 95,35     |
| y         | 0,18      | 0,60  | 1,60  | 2,60  | 3,00      |

x: FI (farinha de trigo integral); y: SUB (substituto de gordura).

Na Tabela 2 é apresentado o delineamento experimental para as variáveis FI e SUB, com valores codificados e reais.

Tabela 2 - Delineamento experimental para as duas variáveis independentes

| Experimentos | tratamentos | variáveis independentes |               |                     |               |
|--------------|-------------|-------------------------|---------------|---------------------|---------------|
|              |             | valor<br>codificado     | valor<br>real | valor<br>codificado | valor<br>real |
|              |             | x                       | FI            | y                   | SUB           |
| 1            | Fatoriais   | 35,00                   | -1            | 0,60                | -1            |
| 2            |             | 35,00                   | -1            | 2,60                | +1            |
| 3            |             | 85,00                   | +1            | 0,60                | -1            |
| 4            |             | 85,00                   | +1            | 2,60                | +1            |
| 5            |             | 24,64                   | - $\alpha$    | 1,60                | 0             |
| 6            | Axiais      | 95,35                   | + $\alpha$    | 1,60                | 0             |
| 7            |             | 60,00                   | 0             | 0,18                | - $\alpha$    |
| 8            |             | 60,00                   | 0             | 3,00                | + $\alpha$    |
| 9            |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 10           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 11           | Centrais    | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 12           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 13           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |
| 14           |             | 60,00                   | 0             | 1,60                | 0             |

FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura.

### 5.2.2.3 Avaliação do perfil de textura dos pães

#### 5.2.2.3.1 Instrumental

A análise do perfil de textura instrumental (TPA - *Texture Profile Analysis*) do miolo dos pães foi realizada seguindo método nº 74-09 (AACC, 2000). Para análise, com quatro determinações, as amostras foram cortadas em forma de cubo, com 25 mm de aresta, medindo-se quatro atributos de textura: firmeza (N), elasticidade (mm), coesividade e mastigabilidade (J) (ULZIJARGAL et al., 2013; KITTISUBAN et al., 2014). Segundo Szczesniak (2002), os atributos definem-se como: firmeza, força necessária para obter uma dada deformação; elasticidade, razão na qual um material deformado é capaz de retornar à sua condição não deformada após a remoção da força de deformação; coesividade, medida em que um material pode ser deformado antes de se romper; mastigabilidade, energia requerida para triturar um alimento sólido até um estado pronto para ser deglutido.

Utilizou-se texturômetro (TA.HD Plus, Stable Micro Systems, Surrey, UK), com célula de carga de 50 kg e sonda cilíndrica de alumínio de 36 mm de diâmetro. Foram realizadas duas compressões com 40 % de penetração (distância de 10 mm), velocidade de 2 mm/s e 5 s de intervalo entre a primeira e a segunda compressão (ORO, 2013).

Para os resultados dos pontos centrais, será discutida apenas a média entre eles (9-14\*).

#### 5.2.2.3.2 Sensorial

A análise descritiva quantitativa (ADQ) de perfil de textura sensorial do miolo de pães iniciou após aprovação pelo CEP/CONEP (Comitê de Ética em Pesquisa/Comissão Nacional de Ética em Pesquisa) (ANEXO B).

A partir dos 50 membros interessados, seguindo metodologia descrita por Civille e Szczesniak (1973), 21 voluntários, com perfil de consumir pães elaborados com trigo, foram recrutados, servidores federais do Campus Florianópolis-Continente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC). A análise sensorial foi realizada nos Laboratórios de Alimentos e Bebidas do IFSC, com baias adaptadas a cabines sensoriais, num treinamento de 40 horas, organizado em sessões quinzenais com duração média de 2 horas, sendo dividido em duas etapas: (1) aspectos gerais, técnicas e análises

sensoriais, (2) conhecimentos específicos do perfil de textura sensorial direcionado para avaliar o miolo de pães e ajuste da escala de notas para expressão dos resultados por parte dos avaliadores. Em ambas etapas, o treinamento foi efetivado seguindo padrões estabelecidos, seguindo Civille e Szczesniak (1973). Ao final do treinamento foram selecionados 12 avaliadores.

As amostras de miolo de pão foram cortadas em cubos com 25 mm de aresta (FLANDER et al., 2007), similar ao estudo de Elía (2011), com cubo de 20 mm de aresta.

A análise foi realizada em 2 dias. Dos 14 experimentos com 6 repetições do ponto central, 12 formulações de pães com 4 repetições do ponto central foram avaliadas sensorialmente, adotando-se delineamento bloco ortogonal (FISHER, 1918), que tem o propósito de eliminar o efeito da heterogeneidade presente nas unidades experimentais sobre a comparação dos tratamentos. Esse método propõe que sejam feitos grupos de parcelas homogêneas (blocos), os quais recebem, cada um, uma repetição de todos os tratamentos.

Para os resultados dos pontos centrais, será discutida apenas a média entre eles (9-12\*).

No primeiro dia foram disponibilizadas as 4 amostras dos pontos fatoriais e 2 dos pontos centrais. E, no segundo dia, foram disponibilizadas as 4 amostras dos pontos axiais e 2 dos pontos centrais. Em cada dia, cada avaliador recebeu uma lista com as definições dos atributos e as 6 amostras diferentes, cada uma delas em triplicata, para avaliar cada um dos atributos. Ou seja, três conjuntos sucessivos de amostras, cortadas imediatamente antes da sessão e apresentadas em prato de porcelana com código randômico de 3 dígitos (KIHLEBERG et al., 2004; HEENAN et al., 2008). Paralelamente à análise sensorial, foi servida água aos avaliadores, como forma de limpar o palato entre as análises (GÁMBARO et al., 2006; HEENAN et al., 2008).

Os atributos de textura sensorial avaliados foram: firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade, caracterizados usando-se a definição de acordo com Civille e Szczesniak (1973), sendo: firmeza, força requerida para comprimir determinada substância entre os dentes molares; elasticidade, grau com o qual um produto retorna à sua forma original depois que é comprimido com os dentes; coesividade, grau com o qual uma substância é comprimida totalmente entre os dentes antes de se romper; mastigabilidade, tempo requerido para mastigar uma amostra, à velocidade constante de aplicação de força, para reduzi-la à consistência adequada para deglutição.

#### **5.2.2.4 Análise de componentes principais**

A Análise de Componentes Principais (ACP) é um método de projeção e redução dimensional dos dados (KRBI et al., 2005), em que há a associação entre as análises, com objetivo de verificar o grau de participação de cada uma delas (HEENAN et al., 2008; FOIS et al., 2011; GOLDNER et al., 2012; PAULA; CONTI-SILVA, 2014).

Tem a finalidade de substituir um conjunto de variáveis correlacionadas, por um conjunto de novas variáveis não correlacionadas, sendo essas, combinações lineares das variáveis iniciais, colocadas em ordem decrescente por suas variâncias. Assim, o objetivo principal da análise de componentes principais é a obtenção de um pequeno número de combinações lineares (componentes principais) de um conjunto de variáveis, que retenham o máximo possível da informação contida nas variáveis originais. Por isso, a utilização de análise de componentes principais pode ser tão eficiente quanto a utilização dos dados originais (LOPES, 2001).

#### **5.2.2.5 Análises estatísticas**

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste paramétrico, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

As texturas instrumental e sensorial foram correlacionadas, avaliadas em similaridades e diferenças, usando Análise de Componentes Principais (ACP), além da matriz de correlação, para o cálculo dos coeficientes de correlação.

Para a análise estatística foi usado o programa Statistica 7.0<sup>®</sup>.

### **5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.3.1 ANÁLISE DE TEXTURA INSTRUMENTAL**

Os atributos instrumentais de textura dos pães estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Atributos instrumentais da textura do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura

| Atributos instrumentais |                             |                              |                               |                            |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| pães                    | Firmeza (N)                 | Elasticidade (mm)            | Coabilidade                   | Mastigabilidade (J)        |
| 1                       | 11,56 <sup>f</sup> ± 0,95   | 0,781 <sup>a</sup> ± 0,061   | 0,598 <sup>a</sup> ± 0,018    | 5,42 <sup>bcd</sup> ± 0,83 |
| 2                       | 11,21 <sup>f</sup> ± 1,50   | 0,757 <sup>ab</sup> ± 0,046  | 0,600 <sup>a</sup> ± 0,023    | 5,12 <sup>cd</sup> ± 1,01  |
| 3                       | 29,56 <sup>a</sup> ± 1,13   | 0,572 <sup>ef</sup> ± 0,042  | 0,487 <sup>ef</sup> ± 0,016   | 8,27 <sup>a</sup> ± 1,08   |
| 4                       | 22,77 <sup>b</sup> ± 2,12   | 0,591 <sup>ef</sup> ± 0,037  | 0,513 <sup>cdef</sup> ± 0,032 | 6,91 <sup>ab</sup> ± 0,81  |
| 5                       | 8,40 <sup>f</sup> ± 1,31    | 0,785 <sup>a</sup> ± 0,039   | 0,606 <sup>a</sup> ± 0,027    | 4,00 <sup>de</sup> ± 0,73  |
| 6                       | 29,86 <sup>a</sup> ± 2,61   | 0,543 <sup>f</sup> ± 0,020   | 0,484 <sup>f</sup> ± 0,016    | 7,87 <sup>a</sup> ± 0,88   |
| 7                       | 19,17 <sup>cd</sup> ± 2,49  | 0,603 <sup>def</sup> ± 0,060 | 0,506 <sup>def</sup> ± 0,029  | 5,91 <sup>bc</sup> ± 1,32  |
| 8                       | 16,53 <sup>de</sup> ± 1,67  | 0,654 <sup>cd</sup> ± 0,029  | 0,537 <sup>bcd</sup> ± 0,019  | 5,83 <sup>bc</sup> ± 0,84  |
| 9                       | 15,58 <sup>e</sup> ± 2,51   | 0,442 <sup>g</sup> ± 0,050   | 0,440 <sup>g</sup> ± 0,030    | 3,02 <sup>e</sup> ± 0,61   |
| 10                      | 16,06 <sup>de</sup> ± 2,14  | 0,564 <sup>ef</sup> ± 0,048  | 0,515 <sup>cdef</sup> ± 0,030 | 4,74 <sup>cd</sup> ± 1,26  |
| 11                      | 20,42 <sup>bc</sup> ± 2,69  | 0,625 <sup>cde</sup> ± 0,046 | 0,540 <sup>bcd</sup> ± 0,027  | 6,95 <sup>ab</sup> ± 1,47  |
| 12                      | 20,46 <sup>bc</sup> ± 1,36  | 0,687 <sup>bc</sup> ± 0,026  | 0,579 <sup>ab</sup> ± 0,022   | 8,13 <sup>a</sup> ± 0,71   |
| 13                      | 16,91 <sup>de</sup> ± 0,99  | 0,629 <sup>cde</sup> ± 0,034 | 0,548 <sup>bc</sup> ± 0,022   | 5,84 <sup>bc</sup> ± 0,62  |
| 14                      | 17,21 <sup>de</sup> ± 1,52  | 0,591 <sup>def</sup> ± 0,032 | 0,533 <sup>cd</sup> ± 0,015   | 5,46 <sup>bcd</sup> ± 0,89 |
| 9-14*                   | 17,77 <sup>cde</sup> ± 0,84 | 0,590 <sup>def</sup> ± 0,016 | 0,526 <sup>cde</sup> ± 0,009  | 5,69 <sup>bc</sup> ± 0,38  |

Média ± desvio padrão na mesma coluna seguida por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura. A amostra 9-14\* representa a média dos pães de 9 a 14.

### Firmeza

Os resultados de firmeza das amostras de pães estão apresentados

na Tabela 3, variando de 8,40 a 29,86 N, similares aos encontrados em estudo de Collar e colaboradores (2014) em pães enriquecidos com cereais, pseudocereais e legumes e, em estudo de Koletta e colaboradores (2014), em pães em que a farinha de trigo branca foi substituída por farinha integral de centeio e/ou farinha integral de cevada e/ou farelo de aveia.

As amostras 3 (85FI+0,60SUB) e 6 (95,35FI+1,60SUB) possuem valores significativamente iguais e superiores, em firmeza (29,56 e 29,86 N, respectivamente) ( $p \leq 0,05$ ), às demais amostras de pães, até mesmo para a amostra 4 (85FI+2,60SUB), mostrando então que o aumento na quantidade de substituto de gordura deixou o pão mais macio.

Para as demais amostras com mesma quantidade de farinha de trigo integral, independentemente da quantidade percentual em substituto de gordura (1 (35FI+0,60SUB) e 2 (35FI+2,60SUB); 7 (60FI+0,18SUB), 8 (60FI+3SUB) e 9-14\* (60FI+1,60SUB)), não se observou diferença significativa no parâmetro firmeza.

A amostra de pão 5 (24,64FI+1,60SUB), com a menor quantidade de farinha de trigo integral, apresentou valor significativamente inferior e igual em firmeza às amostras 1 (35FI+0,60SUB) e 2 (35FI+2,60SUB), mostrando ser, os pães mais macios.

De forma geral, houve aumento da firmeza à medida que os teores de farinha de trigo integral aumentaram, como em trabalho similar em que a firmeza do miolo de pães aumentou, a partir da substituição de parte da farinha de trigo branca, por farinha integral feita com frações intermediárias da moagem do grão de trigo (BLANDINO et al., 2013).

Porém, foi observada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) nos valores de firmeza entre as amostras de pães 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+2,6SUB), que possuem o mesmo teor de farinha de trigo integral e diferentes teores de substituto de gordura, mostrando a atuação do amido modificado na maciez do pão, o que não foi observado entre as amostras que possuem maior teor de farinha de trigo branca (1 (35FI+0,60SUB) e 2 (35FI+0,60SUB); 7 (60FI+0,18SUB), 8 (60FI+3SUB) e 9-14\* (60FI+1,60SUB), respectivamente). Esse comportamento pode ser explicado, caracterizando o substituto de gordura como uma substância anti-firmeza, como em trabalho análogo, com gordura (*shortening*) e monoglicerídeo restringindo o intumescimento do amido presente na massa do pão durante o assamento. Na farinha, o glúten é uma fase contínua e os grânulos de amido estão presentes, nessa estrutura, de forma descontínua. Durante o assamento da massa do pão, a substância anti-

firmeza interage com a molécula do amido da farinha de trigo diminuindo o intumescimento e a solubilização da mesma. Assim, com menor superfície de contato entre a molécula de amido da farinha de trigo exposta ao glúten, ligações de hidrogênio, em menor quantidade ou mais fracas, ocorrem com a proteína do glúten, reduzindo assim a firmeza do pão (MARTIN et al., 1991).

### Elasticidade

Conforme Tabela 3, os resultados de elasticidade das amostras de pães variaram de 0,543 a 0,785 mm, com valores similares (0,830 a 0,910 mm) a pães em que a inulina foi incorporada em diferentes percentuais (RUBEL et al., 2015).

Nas amostras 1 (35FI+0,60SUB), 2 (35FI+2,60SUB) e 5 (24,64FI+1,60SUB), resultaram os pães mais elásticos e menos firmes, tendo sido elaborados com os menores teores de farinha de trigo integral. Esses pães apresentaram valores significativamente iguais e superiores, em elasticidade, às demais amostras ( $p \leq 0,05$ ), independentemente do teor de substituto de gordura usado.

As amostras 7 (60FI+0,18SUB), 8 (60FI+3SUB) e 9-14\* (60FI+1,60SUB) que possuem o mesmo teor de farinha de trigo integral e variação do substituto de gordura, apresentaram valores significativamente iguais para elasticidade, sendo, 0,603, 0,654 e 0,590 mm, respectivamente.

A amostra 6 (95,35FI+0,60SUB) apresentou o maior percentual de farinha de trigo integral, mostrando elasticidade igual às amostras 3 (85FI+0,60SUB), 4 (85FI+2,60SUB), 7 (60FI+0,18SUB) e 9-14\* (60FI+1,60SUB) e elasticidade inferior à amostra 8 (60FI+3SUB) ( $p \leq 0,05$ ). Isso revela que a elasticidade aumenta à medida que há redução do teor de farinha de trigo integral e o aumento do teor de substituto de gordura, sendo portanto, inversamente proporcionais.

### Coesividade

Os resultados de coesividade das amostras de pães estão apresentados na Tabela 3, variando de 0,484 a 0,606, similares aos pães elaborados com substituição de 4 % de farinha de trigo branca por proteína hidrolizada (0,560) e pães controle (0,780) (FITZGERALD et al., 2014). A coesividade tem comportamento praticamente igual ao descrito para elasticidade.

## Mastigabilidade

Os resultados de mastigabilidade das amostras de pães estão apresentados na Tabela 3, variando de 4,00 a 8,27 J, com valores similares (em torno de 4,35 J) a pães em que a inulina foi incorporada em diferentes percentuais (RUBEL et al., 2015). A mastigabilidade apresentou comportamento similar à firmeza.

Nas amostras 3 (85FI+0,60SUB), 4 (85FI+2,60SUB) e 6 (95,35FI+1,60SUB) foram verificados valores, para mastigabilidade, significativamente iguais entre si e superiores às demais amostras de pães ( $p \leq 0,05$ ), mostrando que maiores teores de farinha de trigo integral repercutem na mastigabilidade do pão.

As amostras de pão com os menores teores de farinha de trigo integral, 1 (35FI+0,60SUB), 2 (35FI+2,60SUB) e 5 (24,64FI+1,60SUB), possuem valores significativamente iguais entre si e inferiores em valores de mastigabilidade, com relação às outras amostras ( $p \leq 0,05$ ).

### 5.3.2 ANÁLISE DE TEXTURA SENSORIAL

Os atributos sensoriais de textura dos pães estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Atributos sensoriais de textura do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura

| Atributos sensoriais |                            |                            |                            |                              |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| pães                 | Firmeza                    | Elasticidade               | Coesividade                | Mastigabilidade              |
| 1                    | 3,79 <sup>bc</sup> ± 1,40  | 6,21 <sup>ab</sup> ± 0,89  | 6,96 <sup>a</sup> ± 1,18   | 48,67 <sup>abc</sup> ± 13,17 |
| 2                    | 3,15 <sup>c</sup> ± 1,25   | 6,30 <sup>ab</sup> ± 1,07  | 6,88 <sup>ab</sup> ± 0,93  | 45,50 <sup>bc</sup> ± 10,11  |
| 3                    | 5,61 <sup>a</sup> ± 0,85   | 4,25 <sup>c</sup> ± 1,01   | 4,50 <sup>c</sup> ± 0,64   | 64,83 <sup>ab</sup> ± 11,21  |
| 4                    | 5,38 <sup>ab</sup> ± 0,80  | 4,71 <sup>bc</sup> ± 1,08  | 4,79 <sup>c</sup> ± 0,86   | 66,33 <sup>a</sup> ± 20,43   |
| 5                    | 3,88 <sup>bc</sup> ± 1,92  | 6,83 <sup>a</sup> ± 1,34   | 6,68 <sup>ab</sup> ± 1,93  | 42,67 <sup>c</sup> ± 16,95   |
| 6                    | 5,33 <sup>ab</sup> ± 1,13  | 4,65 <sup>bc</sup> ± 1,48  | 4,57 <sup>c</sup> ± 0,71   | 58,33 <sup>abc</sup> ± 12,46 |
| 7                    | 4,73 <sup>abc</sup> ± 1,19 | 5,46 <sup>abc</sup> ± 1,05 | 5,42 <sup>bc</sup> ± 0,84  | 53,08 <sup>abc</sup> ± 12,90 |
| 8                    | 4,50 <sup>abc</sup> ± 1,07 | 5,67 <sup>abc</sup> ± 1,35 | 5,49 <sup>abc</sup> ± 1,34 | 49,67 <sup>abc</sup> ± 14,28 |
| 9                    | 4,36 <sup>abc</sup> ± 1,22 | 5,27 <sup>abc</sup> ± 1,00 | 5,90 <sup>ab</sup> ± 0,58  | 56,50 <sup>abc</sup> ± 18,65 |
| 10                   | 4,37 <sup>abc</sup> ± 1,48 | 5,33 <sup>abc</sup> ± 1,39 | 5,42 <sup>bc</sup> ± 0,70  | 64,25 <sup>ab</sup> ± 22,08  |
| 11                   | 5,01 <sup>ab</sup> ± 1,04  | 4,96 <sup>bc</sup> ± 1,34  | 4,95 <sup>c</sup> ± 1,10   | 60,67 <sup>abc</sup> ± 16,99 |
| 12                   | 4,95 <sup>ab</sup> ± 1,24  | 4,85 <sup>bc</sup> ± 1,88  | 4,31 <sup>c</sup> ± 1,64   | 58,92 <sup>abc</sup> ± 10,36 |
| 9-12*                | 4,67 <sup>abc</sup> ± 0,96 | 5,10 <sup>bc</sup> ± 1,19  | 5,14 <sup>c</sup> ± 0,82   | 60,08 <sup>abc</sup> ± 14,73 |

Média ± desvio padrão na mesma coluna seguida por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). FI: farinha de trigo integral; SUB: substituto de gordura. A amostra 9-12\* representa a média dos pães de 9 a 12.

Firmeza

Os resultados de firmeza sensorial das amostras de pães estão apresentados na Tabela 4, com notas variando de 3,15 a 5,61.

As amostras 3 (85FI+0,60SUB), 4 (85FI+2,60SUB), 6 (95,35FI+1,60SUB), 7 (60FI+0,18SUB), 8 (60FI+3SUB), 9-12\* (60FI+1,6SUB), todas com  $\geq 60$ FI apresentaram valores iguais e superiores, em firmeza ( $p \leq 0,05$ ), às demais amostras de pães (1 (35FI+0,60SUB), 2 (35FI+2,60SUB) e 5 (24,64FI+1,6SUB)), mostrando então que a variação na quantidade do substituto de gordura não foi

percebida pelos avaliadores treinados com relação ao parâmetro firmeza.

Esse resultado pode ser ratificado observando-se as amostras 1 (35FI+0,6SUB) e 2 (35FI+2,6SUB); 3 (85FI+0,6SUB) e 4 (85FI+0,6SUB); 7 (60FI+0,18SUB), 8 (60FI+3SUB) e 9-12\* (60FI+1,6SUB), já que não houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) nos resultados de firmeza sensorial entre amostras com mesmo teor de farinha de trigo integral e variação no teor de substituto de gordura. A amostra 9-12\* (60FI+1,6SUB) apresentou ser significativamente igual à amostras 9 (60FI+1,6SUB), 10 (60FI+1,6SUB), 11 (60FI+1,6SUB) e 12 (60FI+1,6SUB).

### Elasticidade

Os resultados de elasticidade sensorial (Tabela 4) das amostras de pães variaram com notas de 4,25 a 6,83, similares (4,7 a 7,1) aos encontrados no estudo de Koletta e colaboradores (2014) em pães com farinha de trigo branca substituída por farinha integral de centeio e/ou farinha integral de cevada e/ou farelo de aveia.

A amostra 3 (85FI+0,6SUB) apresentou valor significativamente inferior ( $p \leq 0,05$ ), em elasticidade, às amostras 1 (35FI+0,6SUB), 2 (35FI+2,6SUB) e 5 (24,64FI+1,6SUB) e valor significativamente igual ( $p \leq 0,05$ ) às demais amostras, independentemente do teor de substituto de gordura usado.

A partir da observação entre as amostras 1 (35FI+0,60SUB) e 2 (35FI+2,60SUB); 3 (85FI+0,60SUB) e 4 (85FI+2,60SUB); 7 (60FI+0,18SUB), 8 (60FI+3,00SUB), e 9-12\* (60FI+1,60SUB), foi verificado que não houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) nos resultados de elasticidade sensorial entre amostras com mesmo teor de farinha de trigo integral e variação no teor de substituto de gordura.

Conforme mostrado nos resultados sensoriais na Tabela 4, os pães menos firmes (1: 35FI+0,60SUB; 2: 35FI+2,60SUB; 5: 24,64FI+1,60SUB e 9-12\*: 60FI+1,60SUB), portanto os mais macios ( $p \leq 0,05$ ), ou seja, com notas maiores para elasticidade (exceto a amostra 9-12\*), apresentaram o mesmo comportamento verificado na análise instrumental.

### Coesividade

Os resultados de coesividade sensorial das amostras de pães estão apresentados na Tabela 4, com notas variando de 4,50 a 6,96, similares

(2,8 a 8,2) aos resultados encontrados no estudo de Callejo e colaboradores (2015) em pães elaborados com cultivar de trigo pão e espelta.

Os valores de coesividade sensorial mostraram comportamento similar à elasticidade sensorial e aos resultados de coesividade instrumental e comportamento inversamente proporcional ao aumento do percentual de farinha de trigo integral.

### Mastigabilidade

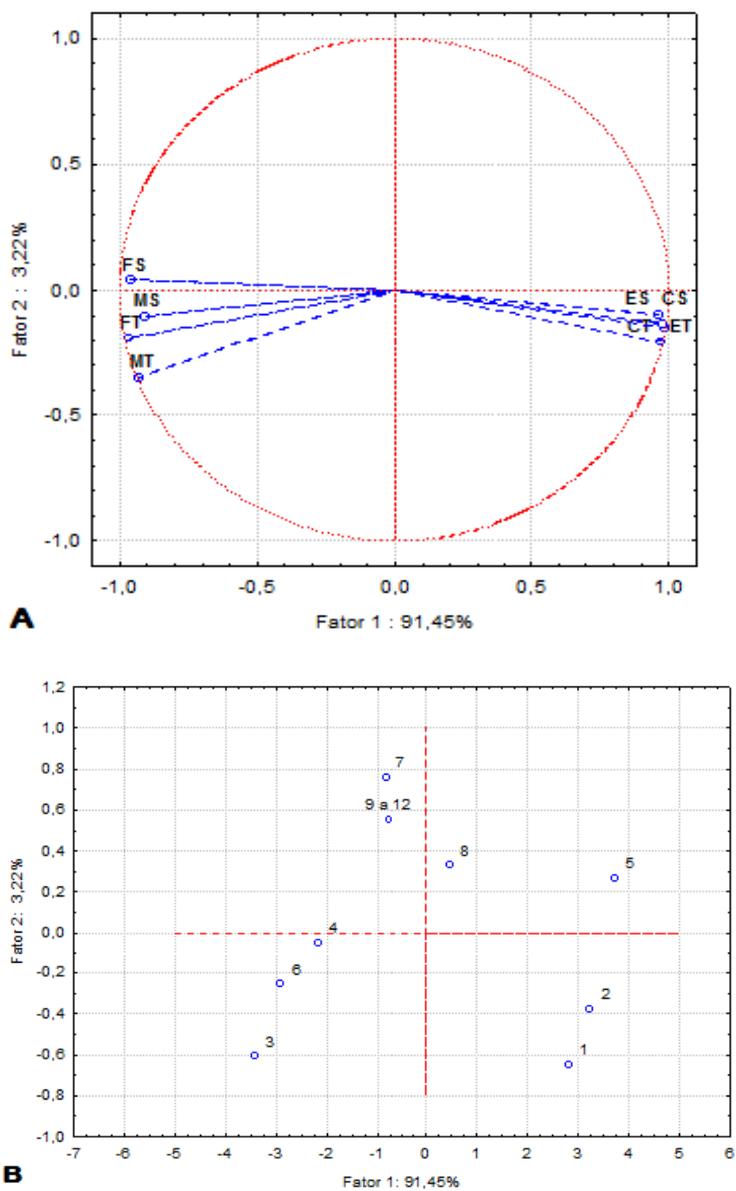
Os resultados de mastigabilidade sensorial das amostras de pães estão apresentados na Tabela 4, com notas variando de 42,67 a 66,33, tendo comportamento similar à firmeza sensorial, o que foi observado também entre mastigabilidade e firmeza, instrumentais.

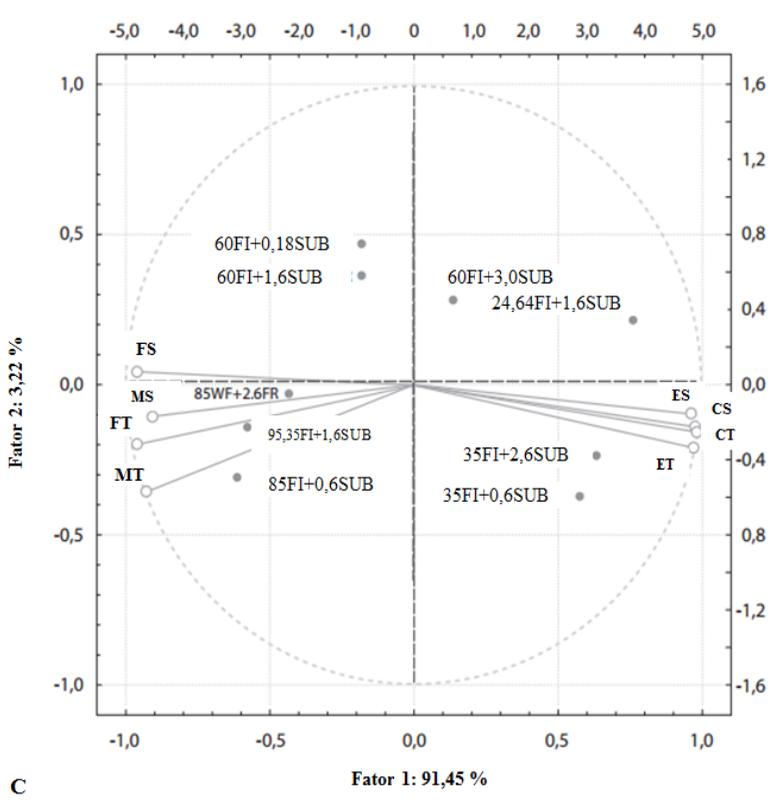
### 5.3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E CORRELAÇÃO ENTRE TEXTURA INSTRUMENTAL E SENSORIAL

Para determinar se existe ou não diferenciação entre a avaliação de textura instrumental (T) e sensorial (S) foi usada Análise de Componente Principais (ACP) (KIHLEBERG et al., 2006; PAULA; CONTI-SILVA, 2014) e matriz de correlação (BORDES et al., 2008).

A Figura 1(a) mostra a projeção dos atributos estudados na ACP, definida no primeiro plano por dois fatores (1 e 2), os quais descrevem cerca de 91 % e 3 % de variância, respectivamente. Sendo que o primeiro eixo descreve praticamente a totalidade das variações em textura (instrumental e sensorial), pois o segundo eixo descreve apenas firmeza sensorial (FS). E a Figura 1(b) mostra a projeção dos componentes principais entre os atributos de textura instrumental e sensorial, dos pães elaborados.

Figura 1 - Análise de componentes principais das amostras de pães.





A: Análise de componentes principais entre os atributos de textura instrumental e sensorial. B: Projeção dos componentes principais entre os atributos de textura instrumental e sensorial. C: *Biplot* – sobreposição das Figuras A e B.

FT: firmeza instrumental; FS: firmeza sensorial; ET: elasticidade instrumental; ES: elasticidade sensorial; CT: coesividade instrumental; CS: coesividade sensorial; MT: mastigabilidade instrumental; MS: mastigabilidade sensorial. Amostras: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9-12 (média das amostras de 9 a 12).

A Figura 1(a) mostra que os atributos cujos vetores estão próximos uns dos outros representam atributos positiva e fortemente correlacionados entre si.

Houve forte e positiva correlação entre os mesmos atributos instrumentais e também sensoriais: firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade. Estiveram também forte e positivamente correlacionados atributos diferentes, como, firmeza e mastigabilidade,

elasticidade e coesividade, independentemente de serem instrumentais (T) ou sensoriais (S).

Os atributos cujos vetores formaram ângulo de 180 ° estão correlacionados negativamente, como ocorreu entre elasticidade e firmeza; elasticidade e mastigabilidade; coesividade e firmeza; e coesividade e mastigabilidade (Figura 1(a)).

Os fatores 1 e 2 representaram uma forma de diferença entre a textura instrumental e sensorial, ou seja, o contraste existente entre elas.

Alguns atributos foram correlacionados moderadamente ao fator 1: ET (0,97) x FT (-0,97); ES (0,96) x FS (-0,96); CT (0,98) x MT (-0,93); e CS (0,98) x MS (-0,91), ou seja, os valores positivos mostram-se similares aos negativos.

O único parâmetro correlacionado positiva e moderadamente ao fator 2 foi: FS (0,04), similar ao parâmetro negativo ES (-0,09). Os demais atributos correlacionados ao fator 2, foram negativos: FT (-0,19), ET (-0,20), CT (-0,15), CS (-0,13), MT (-0,35), MS (-0,10).

A partir da Figura 1(b), o quadrante n° II, da qual fazem parte as amostras de pão 1 e 2, está associado aos atributos de elasticidade e coesividade, tanto instrumental quanto sensorial. O quadrante n° III, da qual fazem parte as amostras de pão 3, 4 e 6, está associado aos atributos de firmeza e mastigabilidade, tanto instrumental quanto sensorial. E, o quadrante n° IV, da qual fazem parte as amostras de pão 7 e 9-12\*, associado ao parâmetro firmeza sensorial (Figura 1(b)). Além disso, é possível verificar a diferença das amostras 1, 2 e 5, com as amostras 3, 4 e 6, situadas em extremos opostos do mesmo eixo, respectivamente, com os menores e os maiores teores de farinha de trigo integral.

A partir da Figura 1(c) é possível observar que as amostras de pães 1, 2 e 5 apresentam as menores médias para FS, pois a projeção gráfica perpendicular delas sobre o vetor da variável FS recai abaixo da origem. Que as amostras 3, 4 e 6 apresentam as maiores médias para FS, pois a projeção gráfica perpendicular delas sobre o vetor da variável FS recai acima da origem. E, que as amostras 7, 8 e 9-12\* apresentam valor na média para a variável FS, pois a projeção gráfica perpendicular delas sobre o vetor da variável FS recai próxima à origem.

A Figuras 1(c) permite ainda verificar que as amostras 1, 2 e 5 foram as que apresentaram maior elasticidade e coesividade e que as amostras 3, 4 e 6 apresentaram maior firmeza e mastigabilidade, tanto em âmbito instrumental quanto sensorial.

A partir da análise de componentes principais foi observado, nesse estudo, que há forte relação entre a textura instrumental e sensorial.

E, que todas as correlações apresentadas na matriz de correlação (Tabela 5) mostram que é possível descrever as variações de textura sensorial por meio de medidas instrumentais, e vice-versa, ratificando assim o que foi descrito a partir dos resultados das Tabelas 3 e 4.

Tabela 5 - Matriz de correlação entre os atributos de textura instrumental e sensorial do miolo dos pães elaborados com farinha de trigo integral e substituto de gordura

|    | FT    | FS    | ET    | ES    | CT    | CS    | MT   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| FT |       |       |       |       |       |       |      |
| FS | 0,91  |       |       |       |       |       |      |
| ET | -0,91 | -0,90 |       |       |       |       |      |
| ES | -0,90 | -0,88 | 0,94  |       |       |       |      |
| CT | -0,94 | -0,93 | 0,98  | 0,96  |       |       |      |
| CS | -0,92 | -0,96 | 0,97  | 0,91  | 0,97  |       |      |
| MT | 0,98  | 0,86  | -0,84 | -0,86 | -0,87 | -0,86 |      |
| MS | 0,84  | 0,88  | -0,85 | -0,86 | -0,83 | -0,88 | 0,84 |

FT, firmeza instrumental; FS, firmeza sensorial; ET, elasticidade instrumental; ES, elasticidade sensorial; CT, coesividade instrumental; CS, coesividade sensorial; MT, mastigabilidade instrumental; MS, mastigabilidade sensorial ( $p \leq 0,05$ ).

## 5.4 CONCLUSÃO

Tanto instrumental quanto sensorialmente e, independentemente do teor de substituto de gordura usado, foi observado que: os pães com < 60FI apresentaram características de serem mais macios, mais elásticos e mais coesivos que os demais; e que os pães mais firmes e, com maior mastigabilidade, possuem os maiores teores de FI.

Os resultados de firmeza instrumental predizem o comportamento das amostras estudadas. Ou seja, sabendo-se o comportamento apenas da firmeza instrumental, pode-se deduzir o comportamento da elasticidade, da coesividade e da mastigabilidade

instrumentais, e também, os comportamentos dos mesmos parâmetros, em âmbito sensorial, o que confere confiança à metodologia e ao uso do texturômetro.

O substituto de gordura pode funcionar como uma substância anti-firmeza.

A Análise de Componentes Principais é tão eficiente quanto a utilização dos dados originais.

O treinamento sensorial executado foi bem sucedido, o que pode ser comprovado pelo fato das correlações entre a avaliação instrumental e sensorial terem valores elevados, ou seja, estarem fortemente correlacionadas. E, alguns aspectos que podem ter auxiliado nesse processo foram: recurso financeiro para aquisição de materiais, tempo e disponibilidade dos analistas, elaboração dos pães em estrutura industrial e amostras frescas em quantidade.

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro - TR 2012000008 (ANEXO A); ao IFSC pela disponibilidade de carga horária letiva aos voluntários; e aos analistas sensoriais pela participação.

## REFERÊNCIAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of Analysis**, 10<sup>th</sup>, Ed. Approved November 8, 2000. AACC International, St Paul, MN, U.S.A.

BLANDINO, M.; SOVRANI, V.; MARINACCIO, F.; REYNERI, A.; ROLLE, L.; GIACOSA, S.; LOCATELLI, M.; BORDIGA, M.; TRAVAGLIA, F.; COÏSSON, J. D.; ARLORIO, M. Nutritional and technological quality of bread enriched with an intermediated perled wheat fraction. **Food Chemistry**, v. 141, p. 2549-2557, 2013.

BORDES, J.; BRANLARD, G.; OURY, F. X.; CHARMET, G.; BALFOURIER, F. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 3, p. 569-579, 2008.

CALLEJO, M. J.; VARGAS-KOSTIUK, M.; RODRÍGUEZ-QUIJANO, M. Selection, training and validation process of a sensory panel for bread analysis: influence of cultivar on the quality of breads made from common wheat and spelt wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 61, p. 55-62, 2015.

CIVILLE, G. V.; SZCZESNIAK, A. S. Guidelines to training a texture profile panel. **Journal of Texture Studies**, v. 4, p. 204-223, 1973.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods – a review. **Food Research International**, v. 51, p. 823-835, 2013.

COLLAR, C.; JIMÉNEZ, T.; CONTE, P.; FADDA, C. Impact of ancient cereals, pseudocereals and legumes on starch hydrolysis and antiradical activity of technologically viable blended breads. **Carbohydrate Polymers**, v. 113, p. 149-158, 2014.

ELÍA, M. A procedure for sensory evaluation on bread: protocol developed by a trained panel. **Journal of Sensory Studies**, v. 26, p. 269-277, 2011.

FISHER, R. The correlation between relatives on the supposition of

Mendelian inheritance. **Trans Royal Society of Edimburg**, v. 52, p. 399-433, 1918.

FITZGERALD, C.; GALLAGHER, E.; DORAN, L.; AUTY, M.; PRIETO, J.; HAYES, M. Increasing the health benefits of bread: assessment of the physical and sensory qualities of bread formulated using a renin inhibitory *Palmaria palmata* protein hydrolysate. **LWT – Food Science and Technology**, v. 56, p. 398-405, 2014.

FLANDER, L.; SALMENKALLIO-MARTTILA, M.; SUORTTI, T.; AUTIO, K. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, p. 860-870, 2007.

FOIS, S.; SANNA, M.; STARA, G.; ROGGIO, T.; CATZEDDU, P. Rheological properties and baking quality of commercial durum wheat meals used to make flat crispy bread. **European Food Research and Technology**, v. 232, p. 713-722, 2011.

GÁMBARO, A.; GIMÉNEZ, A.; ARES, G.; GILARDI, V. Influence of enzymes on the texture of brown pan bread. **Journal of Texture Studies**, v. 37, p. 300-324, 2006.

GOLDNER, M. C.; PÉREZ, O. E.; PILOSO, A. M. R.; ARMADA, M. Comparative study of sensory and instrumental characteristics of texture and color of boiled under-exploited Andean tubers. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, p. 83-90, 2012.

HEENAN, S. P.; DUFOUR, J.; HAMID, N.; HARVEY, W.; DELAHUNTY, C. M. The sensory quality of fresh bread: descriptive attributes and consumer perceptions. **Food Research International**, v. 41, p. 989-997, 2008.

KIHLBERG, I.; JOHANSSON, L.; KOHLER, A.; RISVIK, E. Sensory qualities of whole wheat pan bread – influence of farming system, milling and baking technique. **Journal of Cereal Science**, v. 43, p. 15-30, 2004.

KIHLBERG, I.; OSTROM, A.; JOHANSSON, L.; RISVIK, E. Sensory qualities of plain white pan bread – influence of farming system, year of

harvest and baking technique. **Journal of Cereal Science**, v. 43, p. 15-30, 2006.

KITTISUBAN, P.; RITTHIRUANGDEJ, P.; SUPHANTHARIKA, M. Optimization of hydroxypropylmethylcellulose, yeast beta-glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten-free rice bread using response surface methodology. **LWT – Food Science and Technology**, v. 57, p. 738-748, 2014.

KOKINI, J. L. Fluid and semi-solid food texture and texture-taste interactions. **Food Technology**, v. 39, n. 11, p. 86-94, 1985.

KOLETTA, P.; IRAKLI, M.; PAPAGEORGIU, M.; SKENDI, A. Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 561-568, 2014.

KRBI, B.; URII-MLADENOVI, N.; CVEJANOV, J. Principal component analysis of trace elements in serbian wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 2171-2175, 2005.

LASSOUED, N.; DELARUE, J.; LAUNAY, B.; MICHON, C. Baked product texture: correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 133-143, 2008.

LOPES, L. F. D. **Análise de componentes principais aplicada à confiabilidade de sistemas complexos**. 2001. 121 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MARTIN, M. L.; ZELEZNAK, K J.; HOSENEY, R. C. A. A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. **Cereal Chemistry**, v. 68, n. 5, p. 498-503, 1991.

ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. 2013. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

PAULA, A. M.; CONTI-SILVA, A. C. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 9-14, 2014.

RUBEL, I. A.; PÉREZ, E. E.; MANRIQUE, G. D.; GENOVESE, D. B. Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: effect on dough rheology and bread quality. **Food Structure**, v. 3, p. 21-29, 2015.

SEYER, M.; GÉLINAS, P. Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 688-693, 2009.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 215-225, 2002.

SZCZESNIAK, A. S. Relating sensory textural attributes of corn tortilla to some instrumental measurements. **Journal of Texture Studies**, v. 18, p. 1-15, 1987.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of textural characteristics. **Journal of Food Science**, v. 28, p. 385-389, 1963.

ULZIJARGAL, E.; YANG, J.; LIN, L.; CHEN, C.; MAU, J. Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. **Food Chemistry**, v. 138, p. 70-76, 2013.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa indicam uma maneira processual de investigar, aproximar e prever respostas relacionadas à qualidade dos pães elaborados em escala piloto, uma forma de tornar viável a comercialização num futuro breve.

A partir do estudo usando análise de imagem, análise de perfil de textura e volume específico, pode-se compreender os diferentes percentuais, a estrutura físico-química-reológica e a escolha dos ingredientes que compõem a formulação de um pão.

As características do miolo dos pães, como firmeza, quantidade de poros e densidade são aspectos que os consumidores observam, por isso, é um desafio conciliar atributos sensoriais, como maciez e elasticidade, com as recomendações dos órgãos de saúde pública para ingestão de alimentos contendo cereais integrais e livres em gordura.

Segundo a análise do teor de glúten, o trigo usado é tecnologicamente indicado para ser aplicado à elaboração de pães. A parte da farinha de trigo integral, proveniente do pericarpo do grão e com variação na granulometria, interferiu predominantemente nos atributos de farinografia, alveografia e viscosidade, enquanto que o substituto de gordura deixou a massa mais estável na análise alveográfica, ou seja, com possibilidade de suportar mais tempo de fermentação.

Usando Metodologia de Superfície de Resposta foi percebido somente efeito significativo linear da farinha de trigo integral, tanto para o volume específico quanto para firmeza.

Na análise de imagem, o método Otsu mostrou mais fidedignamente a estrutura do miolo dos pães estudados.

A partir da Análise Componentes Principais, observa-se que há forte relação entre o perfil de textura instrumental e sensorial e que os pães, mais firmes e com maior valor em mastigabilidade, possuem os maiores teores em farinha de trigo integral.

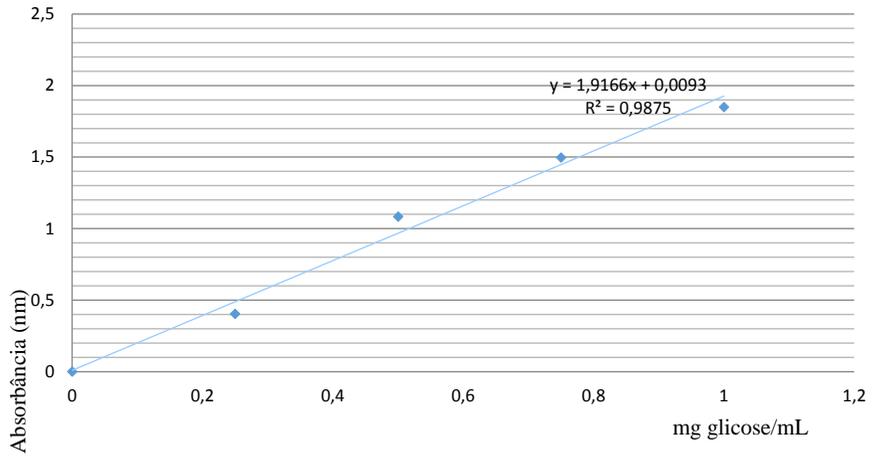
Sugere-se, então, para estudos futuros: o uso de farinha de trigo integral com granulometria menor e mais uniforme, de forma a amenizar a interferência da variação na granulometria; e, o aumento da amplitude dos níveis do substituto de gordura, para que possam ser observados os efeitos, com mais clareza, nos resultados das variáveis dependentes. Além disso, poder-se-ia fazer análise de ressonância magnética nuclear na massa crua dos pães para analisar como o substituto de gordura interage com a estrutura viscoelástica da massa.



**7 APÊNDICES**

APÊNDICE A - Curva padrão de calibração

Curva padrão para determinação do valor de dextrose equivalente (DE)



APÊNDICE B – Resumo apresentado oralmente no *Latin American Cereal Conference Brazil - LACC3, 2015*



# CERTIFICATE

The **Organizing Committee of Latin American Cereal Conference 3 (LACC3)**, held from March 29<sup>th</sup> to April 1<sup>st</sup> 2015, in Curitiba - Brazil, certifies that

## **Patrícia Matos Scheuer**

---

attended the event presenting a paper entitled "Influence of whole wheat flour and fat replacer levels on the specific volume of the loaves" at the oral presentation session, on behalf Martha Zavariz de Miranda and Alicia de Francisco.

Curitiba, April 1<sup>st</sup> 2015.



Coordinator of the Organizing Committee of LACC3 - Brazil 2015

**Promotion:**



**Producer:**





## Optimization of image analysis techniques for quality assessment of whole-wheat breads made with fat replacer

Patrícia Matos SCHEUER<sup>1\*</sup>, Jorge Augusto Sandoval FERREIRA<sup>2</sup>, Bruna MATTIONI<sup>1</sup>,  
Martha Zavariz de MIRANDA<sup>3</sup>, Alicia de FRANCISCO<sup>1</sup>

### Abstract

The cellular structure of healthy food products, with added dietary fiber and low in calories, is an important factor that contributes to the assessment of quality, which can be quantified by image analysis of visual texture. This study seeks to compare image analysis techniques (binarization using Otsu's method and the default ImageJ algorithm, a variation of the iterative intermeans method) for quantification of differences in the crumb structure of breads made with different percentages of whole-wheat flour and fat replacer, and discuss the behavior of the parameters number of cells, mean cell area, cell density, and circularity using response surface methodology. Comparative analysis of the results achieved with the Otsu and default ImageJ algorithms showed a significant difference between the studied parameters. The Otsu method demonstrated the crumb structure of the analyzed breads more reliably than the default ImageJ algorithm, and is thus the most suitable in terms of structural representation of the crumb texture.

**Keywords:** Otsu and default algorithms; binarization; ImageJ.

**Practical Application:** The structural elements of food products such as breads can be quantified by image analysis, contributing to the understanding of quality-related properties such as texture, because to prepare bread with whole-wheat flour (whole grain milled) and fat-replacer (enzymatically modified corn starch) is a challenge. To quantify the differences in crumb structure features of 14 different types of whole-wheat breads made with fat replacer, was used two different image thresholding techniques (binarization using Otsu's method and the default ImageJ algorithm), using free softwares (GIMP and ImageJ).

### 1 Introduction

The food industry is aware of growing consumer demand for healthy products (Hellyer et al., 2012), with added dietary fiber (Vuholm et al., 2014) and low in calories (Heiman & Lowengart, 2014). Including whole grains in one's diet, for instance, can positively impact health and lifestyle.

Wheat is a unique grain because of its functional components. Only wheat flour can form a viscoelastic dough with rheological properties (Goesaert et al., 2005). However, combining nutritional value and organoleptic quality in bread recipes is a challenge.

Fat intake is scientifically linked to increased risk of developing chronic noncommunicable diseases, which affects morbidity and mortality rates (Brasil, 2005). One way of reducing calories in food products is the use of fat replacers (Zahn et al., 2010). Enzymatically modified starches have functional benefits and can be used specifically as a fat substitute in bread (Scheuer et al., 2014).

The cellular crumb structure of cereal-based products, such as bread, is an important contributing factor to their textural properties (Zghal et al., 1999) and to the determination and quantification of sensory quality (Mondal & Datta, 2008). Therefore, knowledge of the structure of breads may help predict

many of their quality-related properties (Ozkoc et al., 2009), particularly in whole-wheat breads, which are known to be less appealing to consumers in terms of quality than are breads made with refined wheat flour (Oro, 2013).

The effects of relative variation in components or processing parameters of a food product can be evaluated using response surface methodology (Collar et al., 2007; Flander et al., 2007). Furthermore, the structural elements of food products such as breads (Kihlberg et al., 2004), starch (Wu et al., 2012), fruits and vegetables (Qing-Guo et al., 2006) can be quantified by image analysis (Jackman & Sun, 2013), contributing to the understanding of quality-related properties such as texture (Qing-Guo et al., 2006).

In the search for improved bread formulations, image processing is a useful tool to investigate, approximate and predict many properties, such as texture (Pourfarzad et al., 2013), by assessing cell size, cell size distribution, number of cells per unit area, cell wall thickness, void fraction and shape factor (Gonzales-Barron & Butler, 2006). The accuracy of a digital image analysis system for crumb grain measurement can be evaluated based on its capability to predict crumb density from directly computed structural parameters (Zghal et al., 1999),

Received 11 Nov., 2014

Accepted 25 Feb., 2015

<sup>1</sup>Cereal Laboratory, Federal University of Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC, Brazil

<sup>2</sup>Federal Institute of Santa Catarina, Campus Florianópolis-Continente, Florianópolis, SC, Brazil

<sup>3</sup>Grain Quality Laboratory, Brazilian Corporation of Agricultural Research - Embrapa Wheat, Passo Fundo, RS, Brazil

\*Corresponding author: [patriciamatosscheuer@gmail.com](mailto:patriciamatosscheuer@gmail.com)

such as number of cells, mean cell area, cell density, circularity, and minimum and maximum cell area. Crumb cell structure can be commonly described by the parameters mean cell area and cell density, and quantified by image analysis systems to determine the visual texture (Scanlon & Zghal, 2001), which, alongside mouthfeel perception, is significantly impacted by the cell size of the crumb (Skendi et al., 2010).

Although a standard procedure does not yet exist, several studies have used image analysis to assess bread loaves made with refined wheat flour (Zghal et al., 1999; Gonzales-Barron & Butler, 2006) and some made using whole grains, as soy (Lodi & Vodovotz, 2008),  $\beta$ -glucan (Skendi et al., 2010), chia (Farrera-Rebollo et al., 2012), amaranth (Sanz-Penella et al., 2013) and whole wheat (Torri et al., 2013).

One of the most common analytical actions performed on any image is descriptive analysis, which seeks to assess the relationships between the color and/or textural features of the image, find distinct patterns in the image, determine the presence of different types of objects, or study the statistical distribution of the pixels and different clusters related to the different phenomena appearing in the image (Prats-Montalbán et al., 2011). The success of the chosen analysis technique depends on the structure of interest occupying a range of grey levels distinct from that of the background (Ridler & Calvard, 1978). Several approaches are available for this purpose: an image acquisition method that reveals more information or is less confounded by background noise (Prats-Montalbán et al., 2011); homogenization of lighting to eliminate irregularities; higher resolution; better sample preparation to ensure minimum data corruption; and the search for a better image segmentation algorithm that can provide a more accurate region of interest (Jackman & Sun, 2013). The term segmentation refers to the isolation of one or various objects from the background of an image to enable feature characterization of the image (Prats-Montalbán et al., 2011).

Many automated thresholding algorithms are available (Gonzales-Barron & Butler, 2006), including Otsu's method and the default ImageJ algorithm, a variation of the iterative intermeans method; both provide robust and efficient data partitioning (Otsu, 1979; Herbert, 2014). The aim of this study was to compare two different image thresholding techniques and quantify the differences in crumb structure features of 14 different types of whole-wheat breads made with fat replacer, as a means of proposing simple procedures for quantification of structural changes (viewed from a response surface methodology perspective) that could have an effect on bread quality.

## 2 Materials and methods

### 2.1 Material

Commercially refined wheat flour and whole-wheat flour for bread making, milled from wheat harvested in 2012 and stored at -18 °C, were provided by Cooperativa Agrária Agroindustrial, Guarapuava, state of Paraná, Brazil. A representative sample of whole-wheat flour (reconstituted whole-wheat flour) and white wheat flour (refined flour), both from the same batch of grain, was used to ensure standardization of variable parameters. Different blends of whole wheat flour (WF) and refined wheat flour (RF) were prepared and encoded: 95.35WF (95.35%WF+4.65%RF);

85WF (85%WF+15%RF); 60WF (60%WF+40%RF); 35WF (35%WF+65%RF); and 24.64WF (24.64%WF+75.36%RF). These levels were determined by means of response surface methodology, as described in the Methods section.

The enzymatically modified cornstarch used in this study as a fat replacer (FR) was provided by Dutch Starches International, Netherlands, and is commercially available as Selectamx C 150.

### 2.2 Bread samples

Bread loaves were baked and randomly selected in duplicate according to the optimized straight-dough bread-making method (10-10B) (American Association of Cereal Chemists, 2000), with a 60 min fermentation, using the following formulation: wheat flour (100%), sucrose (6%), instant active dry yeast (1.8%), sodium chloride (1.5%), fat (3%), and tap water (Flander et al., 2007). Instead of fat, the aforementioned fat replacer was used in gel form according to manufacturer instructions. The amount of water used corresponded to 86% of the water absorption content as determined by Farinograph analysis (method adapted from Seyer & Gélinas, 2009). The ingredients were mixed at speed setting 2 for 6 min (Flander et al., 2007; Oro, 2013) in a commercial mixer (RPD 25, Líder, Brazil). The temperature of the dough was kept at 28-29 °C after mixing. Subsequently, 500-g pieces of dough were placed in a proofing cabinet (CFC20, Perfecta, Brazil) at 30 °C and 85% relative humidity for 35 min. The dough was then kneaded once, fermented for 17 min, kneaded again, and fermented for a further 8 min. The dough was sheeted manually, placed into a rectangular mold (9.5 cm x 20 cm x 4.5 cm), and fermented for 24 min. Finally, the dough was baked in a revolving oven (Ventile, Líder, Brazil) for 24 min at 180 °C. After cooling for 1 hour at room temperature on metal racks, 1-cm-thick longitudinal and cross-sections of each loaf were sliced and scanned for crumb cell analysis (Pourfarzad et al., 2013).

### 2.3 Experimental design

Using the rotatable central composite design of response surface methodology, with the percentage of whole wheat flour (%WF) and the percentage of fat replacer (%FR) as independent variables, 14 different loaves were baked (Table 1).

The rotatable central composite design yielded 14 experiments, as follows: four factorial treatments, in which the two factors were %WF (%whole wheat flour) and %FR (% fat replacer), each with two levels coded to -1 and +1; four axial treatments including minimum and maximum level of each factor coded as - $\alpha$  and + $\alpha$ , where  $\alpha=(2^2)^{1/4} = 1.414$ ; and one central treatment repeated six times, to estimate the pure experimental error and calculate the reproducibility of the method, in which all factors are coded as zero (Table 1).

The second-order regression model is represented by Equation 1 (Montgomery, 1991).

$$z = b_0 + b_1x + b_2y + b_3(x^2 + b_4y + b_5y^2) + b_6xy \quad (1)$$

Where:

$z$  = estimated results for the response variables (mean cell area and cell density);  $x$  = %WF;  $y$  = %FR;  $b_0, b_1, b_{11}, b_2, b_{22}, b_{12}$  = estimates of the regression coefficients

**Table 1.** Bread composition.

| Loaf | Treatment | Independent variables |               |            |               |
|------|-----------|-----------------------|---------------|------------|---------------|
|      |           | %WF                   |               | %FR        |               |
|      |           | Real value            | Encoded value | Real value | Encoded value |
| 1    | Factorial | 35.00                 | -1            | 0.60       | -1            |
| 2    |           | 35.00                 | -1            | 2.60       | +1            |
| 3    |           | 85.00                 | +1            | 0.60       | -1            |
| 4    |           | 85.00                 | +1            | 2.60       | +1            |
| 5    |           | 24.64                 | - $\alpha$    | 1.60       | 0             |
| 6    | Axial     | 95.35                 | + $\alpha$    | 1.60       | 0             |
| 7    |           | 60.00                 | 0             | 0.18       | - $\alpha$    |
| 8    |           | 60.00                 | 0             | 3.00       | + $\alpha$    |
| 9    |           | 60.00                 | 0             | 1.60       | 0             |
| 10   | Central   | 60.00                 | 0             | 1.60       | 0             |
| 11   |           | 60.00                 | 0             | 1.60       | 0             |
| 12   |           | 60.00                 | 0             | 1.60       | 0             |
| 13   |           | 60.00                 | 0             | 1.60       | 0             |
| 14   |           | 60.00                 | 0             | 1.60       | 0             |

WF: whole-wheat flour; FR: fat replacer (enzymatically modified corn starch).

#### 2.4 Scanning resolution settings

Images of three slices were acquired using the flatbed scanner of an all-in-one printer (DCP-7065DN Monochrome Laser Multi-Function Copier, Brother, Japan). Brightness and contrast were set to the default software values (zero) for all samples. The images were saved as bitmap files at a resolution of 300 dots per inch (dpi) in the red-green-blue (RGB) color space. Measurements were obtained in pixels and converted into millimeters by using known length values. A single 40 mm x 40 mm square field of view was evaluated in each image. The free GNU Image Manipulation Program (GIMP) software, version 2.6, was used to obtain the two measurements of interest. After cropping, the images were pre-processed and converted to 8-bit greyscale. Pre-processing (levels adjustment), segmentation (thresholding) and crumb grain measurements (extraction of parameters) were carried out in the ImageJ-based Fiji 1.46 software package.

Segmentation was performed manually, by binarization of greyscale images into black-and-white images using the Otsu and default ImageJ algorithms.

Otsu's thresholding algorithm is a uniformity-oriented method, wherein uniformity is computed as a measure within each region independent of the surroundings and the optimal threshold is determined by minimizing the intraclass variance of the segmented region (Sahoo et al., 1988), i.e., it maximizes between-class variance' The Otsu method (Otsu, 1979) has been shown to yield adequate, consistent binary images (high degree of uniformity) in terms of performance and thresholding characteristics of the analyzed figures (Gonzales-Barron & Butler, 2006).

The default ImageJ algorithm is formally known as the iterative intermeans method, a variation of the IsoData algorithm (Ridler & Calvard, 1978). The procedure divides the image into object and background by obtaining an initial threshold

value and computing averages for the pixels at or below the threshold and for those above. The averages of those two values are computed, the threshold is incremented and the process repeated until the threshold is higher than the composite average (threshold = (average background + average objects)/2) (Gonzales-Barron & Butler, 2006).

The following crumb grain properties were extracted and calculated: number of cells (objects); mean cell area (mm<sup>2</sup>); cell density (cells/mm<sup>2</sup>), circularity, and maximum and minimum cell area (mm<sup>2</sup>) (Esteller & Lannes, 2005). Cell density was calculated by dividing the number of cells by the mean cell area. Cell shape was analyzed using a shape factor to measure circularity.

The cell size frequency distribution (Sturges, 1926) was also calculated for both methods (Otsu and default). According to Polaki et al. (2010), the cell distribution reveals information about the crumb structure of the bread. Cells can be classified as small (area < 4 mm<sup>2</sup>), medium (4-8 mm<sup>2</sup>) or large (> 8 mm<sup>2</sup>), as all cell sizes coexist in the matrix.

#### 2.5 Analysis of results

Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test (significance level  $p \leq 0.05$ ) were used to determine the significance of the data. All statistical analyses and graphical representations were performed in STATISTICA 7.0'.

### 3 Results and discussion

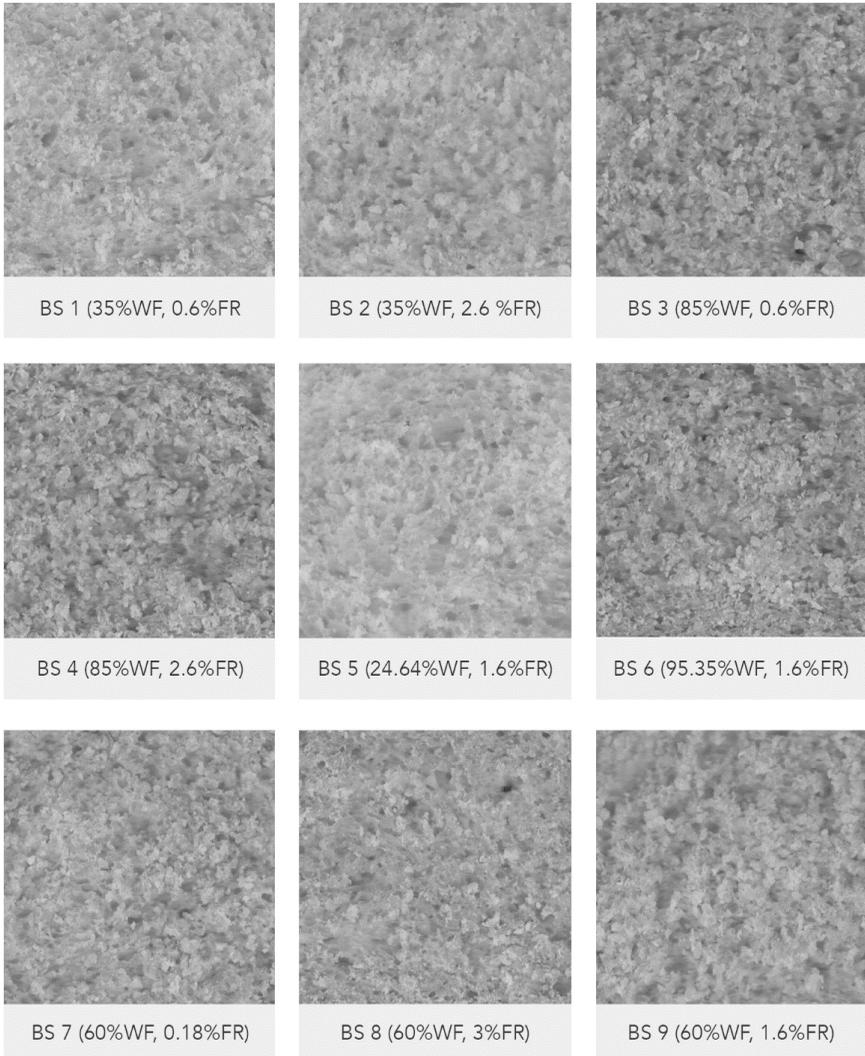
Bread samples 9 to 14 comprised the central points treatments, and are thus represented by a single image.

Image analysis was performed on each of three scanned bread slices to provide a more detailed view of the bread texture, as shown in Figure 1.

Figure 2 shows the binary images processed by the two thresholding techniques (Otsu and default). Figures 2a, b show a basic figure constructed from circles. Figures 2c, d show bread sample 5 (24.64%WF+1.6%FR) and Figures 2e, f show bread sample 6 (95.35%WF+1.6%FR), the loaves baked with the lowest and highest whole-wheat flour content respectively.

For the basic image constructed from circles (Figures 2a, b), neither visual nor statistical differences were found between the thresholding techniques; all parameters were identical with both algorithms: number of cells (three objects), mean cell area (29.946 mm<sup>2</sup>), cell density (0.100 cells/mm<sup>2</sup>), and circularity (0.918). For bread samples 5 and 6 (Figures 2c, d) and (Figures 2e, f), respectively), differences between the thresholding techniques are apparent. Visually, a larger black area is seen in the image generated by the Otsu method (Figures 2c, e) as compared with the default algorithm (Figures 2d, f). As described by Gonzales-Barron & Butler (2006), in similar applications of different thresholding instances, the Otsu method overestimated the void fraction, whereas the default algorithm appeared to underestimate this fraction. Statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) are shown in Table 2.

As Table 2 shows, significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between the Otsu and default ImageJ methods were found for the parameters

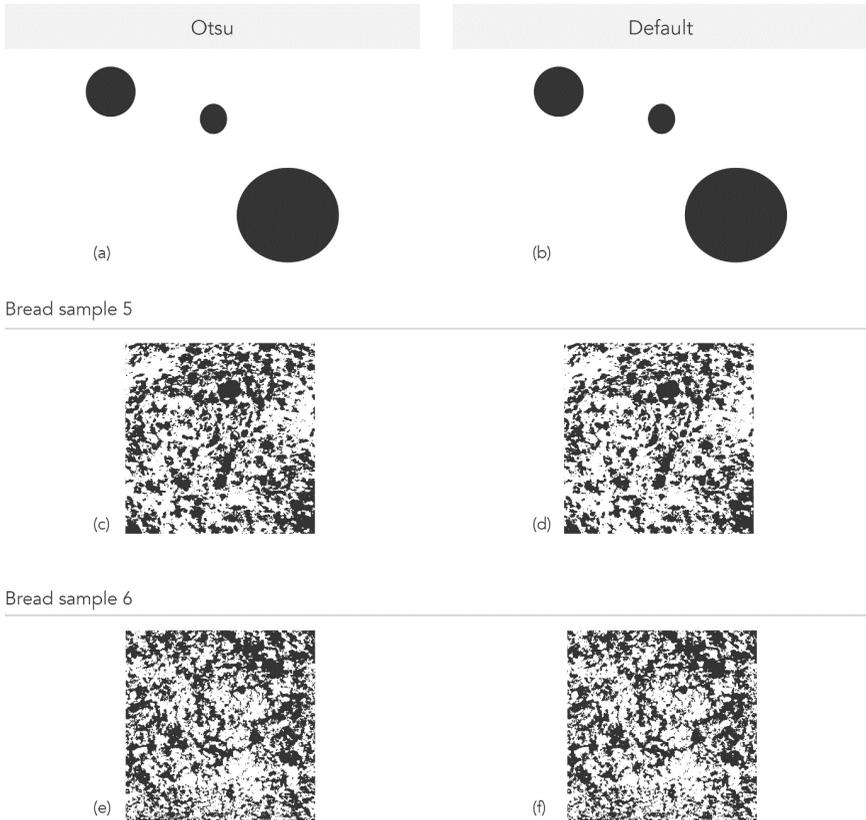


**Figure 1.** Digital images (40 x 40 mm crumb area) of bread samples. BS: bread sample; WF: whole wheat flour; FR: fat replacer; BS 9 = 9 to 14.

number of cells, mean cell area, cell density, and circularity. In Otsu-analyzed images, bread sample 1 (35%WF+0.6%FR) had a similar number of cells (752.67 objects,  $p \leq 0.05$ ) as compared to samples 2, 5, 6, 7 and 8, and a greater number of cells ( $p \leq 0.05$ ) than samples 3, 4 and 9 (Table 2). In images analyzed with the

default algorithm, there was no significant difference in number of cells across any of the samples ( $p \leq 0.05$ ) (Table 2).

With both algorithms, bread sample 5 had a similar ( $p \leq 0.05$ ) mean cell area (Otsu:  $0.497 \text{ mm}^2$ ; default:  $0.532 \text{ mm}^2$ ) than samples 1, 3 and 9 and a larger mean cell area ( $p \leq 0.05$ ) than



**Figure 2.** Binary images thresholded using the Otsu and default ImageJ algorithms.

samples 2, 6 and 7 (Table 2). With Otsu's method, sample 5 had a mean cell area similar ( $p \leq 0.05$ ) to that of sample 4 and larger ( $p \leq 0.05$ ) than that of sample 8. By other hand, with the default algorithm, sample 5 had a mean cell area larger ( $p \leq 0.05$ ) to that of sample 4 and similar ( $p \leq 0.05$ ) than that of sample 8 (Table 2).

The behavior of the mean cell area parameter is shown in response surface plots (Figures 3a, b), Otsu and default methods respectively) of the effect of whole-wheat flour and fat replacer content, as the cell distribution reveals information about the crumb structure (Polaki et al., 2010).

With Otsu's method (Figure 3a), the greatest mean cell areas were found in samples baked with low percentages of whole-wheat flour (about 20%) and fat replacer (about 1.5%). With the default method (Figure 3b), the highest mean cell area values were observed in samples baked with approximately

50-60% whole-wheat flour and 1.5% fat replacer. With both methods, the best percentage of fat replacer is about 1.5%.

Statistically, Figure 3a (Otsu's method) corroborates the literature, in that mean cell area decreased with increasing percentage of whole-wheat flour, regardless of the percentage of fat replacer used, which can be contextualized by the fact that fiber disrupts the gluten-starch matrix and restricts and forces gas cells to expand in a particular dimension (Collar et al., 2006). This may have been compounded by the action of the fat replacer, as studies have indicated that the size of a hydrocolloid can influence its distribution within the gluten matrix and, therefore, influence pore size (Mandala et al., 2007). Different hydrocolloids have been included in the formulation of partially baked breads to improving quality parameters (specific volume, firmness, moisture, shelf life) (Bárceñas et al., 2009) as well as

**Table 2.** Image analysis parameters of bread loaves.

| Bread samples | Number of cells (objects)    | Otsu algorithm                    |                                       |                              |
|---------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
|               |                              | Mean cell area (mm <sup>2</sup> ) | Cell density (cells/mm <sup>2</sup> ) | Circularity                  |
| 1             | 752.67 <sup>a</sup> ± 84.23  | 0.331 <sup>ab</sup> ± 0.059       | 2348.95 <sup>bc</sup> ± 687.62        | 0.824 <sup>a</sup> ± 0.002   |
| 2             | 689.00 <sup>ab</sup> ± 87.93 | 0.285 <sup>b</sup> ± 0.082        | 2496.81 <sup>bc</sup> ± 410.10        | 0.837 <sup>a</sup> ± 0.003   |
| 3             | 563.33 <sup>b</sup> ± 40.13  | 0.346 <sup>ab</sup> ± 0.029       | 1630.19 <sup>bc</sup> ± 76.87         | 0.842 <sup>a</sup> ± 0.006   |
| 4             | 562.00 <sup>b</sup> ± 13.89  | 0.325 <sup>ab</sup> ± 0.042       | 1747.91 <sup>bc</sup> ± 220.57        | 0.828 <sup>a</sup> ± 0.010   |
| 5             | 589.67 <sup>ab</sup> ± 73.64 | 0.497 <sup>a</sup> ± 0.062        | 1187.65 <sup>c</sup> ± 96.42          | 0.821 <sup>a</sup> ± 0.006   |
| 6             | 682.33 <sup>ab</sup> ± 40.50 | 0.141 <sup>c</sup> ± 0.016        | 4896.98 <sup>a</sup> ± 668.48         | 0.832 <sup>a</sup> ± 0.004   |
| 7             | 603.33 <sup>ab</sup> ± 47.06 | 0.212 <sup>b</sup> ± 0.058        | 3012.09 <sup>b</sup> ± 979.34         | 0.837 <sup>a</sup> ± 0.022   |
| 8             | 628.67 <sup>ab</sup> ± 72.06 | 0.298 <sup>b</sup> ± 0.114        | 2280.47 <sup>bc</sup> ± 727.22        | 0.834 <sup>a</sup> ± 0.003   |
| 9 to 14       | 568.33 <sup>b</sup> ± 72.50  | 0.323 <sup>ab</sup> ± 0.058       | 1782.57 <sup>bc</sup> ± 266.18        | 0.815 <sup>a</sup> ± 0.009   |
| Bread samples | Number of cells (objects)    | Default ImageJ algorithm          |                                       |                              |
|               |                              | Mean cell area (mm <sup>2</sup> ) | Cell density (cells/mm <sup>2</sup> ) | Circularity                  |
| 1             | 793.67 <sup>a</sup> ± 91.55  | 0.412 <sup>abc</sup> ± 0.090      | 2009.59 <sup>b</sup> ± 629.48         | 0.821 <sup>abc</sup> ± 0.000 |
| 2             | 726.33 <sup>a</sup> ± 100.08 | 0.332 <sup>bcd</sup> ± 0.060      | 2246.91 <sup>b</sup> ± 561.95         | 0.833 <sup>ab</sup> ± 0.005  |
| 3             | 577.00 <sup>a</sup> ± 48.59  | 0.397 <sup>abcd</sup> ± 0.020     | 1455.88 <sup>b</sup> ± 145.37         | 0.827 <sup>abc</sup> ± 0.006 |
| 4             | 580.00 <sup>a</sup> ± 23.52  | 0.327 <sup>bc</sup> ± 0.056       | 1812.40 <sup>b</sup> ± 338.38         | 0.826 <sup>abc</sup> ± 0.002 |
| 5             | 625.67 <sup>a</sup> ± 73.21  | 0.532 <sup>a</sup> ± 0.070        | 1197.23 <sup>b</sup> ± 259.88         | 0.807 <sup>c</sup> ± 0.007   |
| 6             | 712.33 <sup>a</sup> ± 23.96  | 0.159 <sup>d</sup> ± 0.045        | 4702.27 <sup>a</sup> ± 1223.48        | 0.835 <sup>a</sup> ± 0.004   |
| 7             | 702.67 <sup>a</sup> ± 72.50  | 0.244 <sup>cd</sup> ± 0.072       | 3147.27 <sup>ab</sup> ± 1340.16       | 0.826 <sup>abc</sup> ± 0.019 |
| 8             | 759.00 <sup>a</sup> ± 135.50 | 0.434 <sup>abc</sup> ± 0.024      | 1740.99 <sup>b</sup> ± 225.71         | 0.819 <sup>abc</sup> ± 0.003 |
| 9 to 14       | 610.67 <sup>a</sup> ± 86.94  | 0.505 <sup>ab</sup> ± 0.118       | 1260.02 <sup>b</sup> ± 352.71         | 0.810 <sup>bc</sup> ± 0.010  |

Means ± standard deviations in the same column followed by a different letter are significantly different ( $p \leq 0.05$ ). Bread sample 9 actually represents samples 9 to 14.

to replace fat. As gas cells expand, the density of the dough is reduced (Scanlon & Zghal, 2001).

Regarding cell density, in images analyzed with Otsu's algorithm, bread sample 6 had the highest density (4896.98 cells/mm<sup>2</sup>) ( $p \leq 0.05$ ) among all samples. As sample 6 had the highest whole-wheat flour content (95.35%WF+1.6%FR), this can be explained by the fact that fibers can dilute and interrupt the gluten–starch matrix, thus causing a restriction in gas retention, as reported in whole-oat bread by Polaki et al. (2010). In images analyzed with the default ImageJ algorithm, sample 6 had a cell density similar (4702.27 cells/mm<sup>2</sup>,  $p \leq 0.05$ ) to that of sample 7 and higher ( $p \leq 0.05$ ) than that of all others (Table 2).

Both with Otsu's method and with the default ImageJ algorithm (Table 2), the highest cell density and lowest mean cell area values were found with the highest whole-wheat flour content, which is consistent with the results obtained by Farrera-Rebollo et al. (2012) in breads made with chia flour and by Hruskova et al. (2011) in whole-grain breads.

The response surface plots shown in Figures 3c, d (Otsu's and default algorithms respectively) show a similar behavior in cell density with percent changes in whole-wheat flour and fat replacer content. Cell density strongly influences the mechanical properties of bread crumb, thus allowing comparison of the analyzed food with other raw materials and processing conditions (Scanlon & Zghal, 2001).

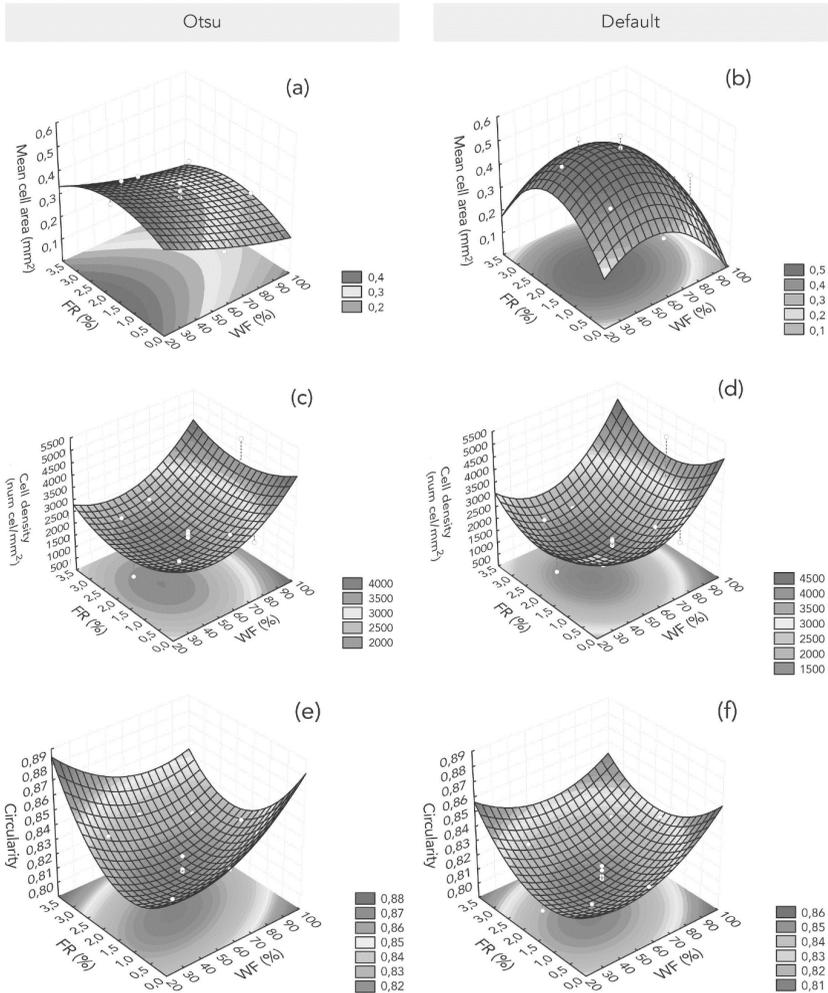
Both in images analyzed with Otsu's method (Figure 3c) and with the default algorithm (Figure 3d), cell density was influenced

by whole-wheat flour and fat replacer content, with the lowest cell density values found with approximately 40–50% whole wheat flour and 2% fat replacer. These results run counter to the mean cell area results found with both Otsu's (Figure 3a) and the default (Figure 3d) methods.

Using Otsu's method (Table 2), no differences ( $p \leq 0.05$ ) in cell circularity were observed among the bread samples, which is consistent with the findings of Rosell & Santos (2010) in loaf formulations containing hydrocolloids. However, using the default algorithm, differences in circularity ( $p \leq 0.05$ ) were found: bread sample 6 (0.835) had a higher value than samples 5 (0.807) and 9 (0.810); sample 5 (0.807) had a lower circularity ( $p \leq 0.05$ ) than sample 2 (0.833). With both algorithms, circularity values exceeded 0.8, thus approaching a perfect circle.

The response surface plots shown in Figures 3e, f (Otsu's and default algorithms respectively) demonstrate that fat replacer content had a significant influence on pore circularity; namely, circularity varied more with changes in fat replacer content than with whole-wheat flour content.

Regarding the percentage of cells in each cell area range in each sample (Table 3), both in images analyzed with Otsu's method and with the default algorithm, most cells were characterized as small (area < 0.1 mm<sup>2</sup>). In bread sample 6, 84–85% of cells were classified as small, versus 91–97% of cells in the other samples (Table 3). Furthermore, sample 6 is the only one in which maximum cell area was in the 3.2–6.4 mm<sup>2</sup> range. This is justified by the fact that sample 6 had a higher percentage of whole-wheat flour (95.35%WF), as the presence of fiber hinders



**Figure 3.** Effect of whole-wheat flour and fat replacer content on the mean cell area ((a) and (b)), cell density ((c) and (d)), circularity ((e) and (f)) of bread crumb, as analyzed with the Otsu and default ImageJ algorithms. WF: whole-wheat flour; FR: fat replacer.

the formation of air bubbles in the viscoelastic gluten network. This is consistent with earlier studies (Pomeranz et al., 1977) showing that addition of fibrous materials to wheat flour weakens the crumb cell structure due to dilution of gluten protein network. Dubois (1978) emphasized that the gas retention of the dough is impaired largely by water-insoluble fractions, thereby changing the texture and appearance of the baked product.

As shown in Table 3, with both of the studied methods (Otsu's and the default ImageJ algorithm), relative variation of fat replacer

content between bread samples (1 vs. 2; 3 vs. 4; 7, 8 and 9-14) while maintaining the same percentage of whole-wheat flour (Table 1) did not yield relevant differences in relative number of cells in each cell area range. This probably demonstrates that the properties of whole-wheat flour predominate over those of the fat replacer, which should act as shortening. Breads made with white flour and low fat content (0.1 and 0.3% of flour weight) resulted in soft loaves with a larger volume (Mouliney et al., 2011). This same study showed that loaf volume rises progressively

with increasing levels of shortening up to about 2% of flour weight. Thus, one important function of fat in bread-making is stabilization of gas bubbles in the dough, increasing gas retention in the oven (Goesaert et al., 2005), as added fat prevents binding of the native flour lipids to the gluten network, thereby stabilizing proteins during heating of the dough (Mouliney et al., 2011).

Regarding the distribution of the different frequency ranges, only samples 6 (7%) and 7 (2 to 3%) had cells with a mean cell area in the 0.1–0.2 mm<sup>2</sup> range, as determined by both methods (Table 3). Table 3 shows that no sample had pores in the 0.2–0.4 mm<sup>2</sup> range and that only sample 6 had pores in the 0.4–0.8 mm<sup>2</sup> range, for both methods (Otsu's and default). Comparison of Otsu's method and the default algorithm revealed

small differences and relative variation in the number of cells for ranges from 0.8 to 50.2 mm<sup>2</sup>.

Table 4 shows the minimum and maximum cell area values found in each bread sample using the two methods. The minimum cell area value was identical (0.007 mm<sup>2</sup>) in all bread samples and in both image analysis algorithms. The maximum cell area value did not differ significantly ( $p \leq 0.05$ ) between the Otsu and default methods. However, the results of samples 6 and 1 bear stressing. Bread sample 6, which was made with 95.35% WF, had a maximum cell area value of approximately 5 mm<sup>2</sup>, whereas all other samples had maximum values ranging from 31 to 72 mm<sup>2</sup>. Bread sample 1 had a maximum cell area of 31.096 mm<sup>2</sup> with Otsu's method and 71.245 mm<sup>2</sup> with the default ImageJ algorithm.

**Table 3.** Cell quantity in each bread sample.

| Cell area (mm <sup>2</sup> ) | Method  | Cell quantity (%) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------|---------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                              |         | Bread sample      |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                              |         | 1                 | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| 0.1                          | Otsu    | 94                | 96  | 97  | 95  | 93  | 85  | 94  | 94  | 92  |
|                              | Default | 97                | 94  | 97  | 94  | 91  | 84  | 92  | 93  | 92  |
| 0.1–0.2                      | Otsu    |                   |     |     |     |     | 7   | 2   |     |     |
|                              | Default |                   |     |     |     |     | 7   | 3   |     |     |
| 0.2–0.4                      | Otsu    |                   |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                              | Default |                   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0.4–0.8                      | Otsu    |                   |     |     |     |     | 6   |     |     |     |
|                              | Default |                   |     |     |     |     | 6   |     |     |     |
| 0.8–1.6                      | Otsu    | 4                 | 1   | 1   | 4   | 3   | 1   | 2   | 3   | 3   |
|                              | Default |                   | 1   |     | 3   | 3   | 2   | 2   | 3   | 3   |
| 1.6–3.2                      | Otsu    | 1                 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 2   | 2   |
|                              | Default | 1                 | 1   | 1   | 2   | 4   | 0.4 | 1   | 2   | 3   |
| 3.2–6.4                      | Otsu    | 1                 | 1   | 1   |     | 2   | 0.3 | 1   |     | 2   |
|                              | Default | 1                 | 1   | 1   |     | 2   | 0.3 | 1   | 1   | 1   |
| 6.4–12.8                     | Otsu    | 0.1               | 0.1 |     | 0.2 | 0.5 |     | 0.7 | 0.3 | 0.7 |
|                              | Default | 0.4               | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 1   |     | 0.8 | 0.6 | 0.5 |
| 12.8–25.6                    | Otsu    | 0.1               |     | 0.7 |     | 0.3 |     |     | 0.3 |     |
|                              | Default | 0.1               |     | 0.5 | 0.3 |     |     | 0.1 | 0.7 |     |
| 25.6–50.2                    | Otsu    | 0.4               | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 |     | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
|                              | Default | 0.4               | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.3 |     |     | 0.2 | 0.4 |

**Table 4.** Minimum and maximum cell area.

| Bread sample | Minimum cell area (mm <sup>2</sup> ) |                            | Maximum cell area (mm <sup>2</sup> ) |                              |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
|              | Otsu                                 | Default                    | Otsu                                 | Default                      |
| 1            | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 31.096 <sup>a</sup> ± 12.707         | 71.245 <sup>a</sup> ± 52.213 |
| 2            | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 55.852 <sup>a</sup> ± 7.557          | 51.290 <sup>a</sup> ± 11.039 |
| 3            | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 53.111 <sup>a</sup> ± 0.000          | 51.842 <sup>a</sup> ± 0.000  |
| 4            | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 58.236 <sup>a</sup> ± 0.710          | 42.929 <sup>a</sup> ± 18.341 |
| 5            | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 53.519 <sup>a</sup> ± 12.924         | 46.918 <sup>a</sup> ± 16.268 |
| 6            | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 5.622 <sup>a</sup> ± 0.066           | 5.562 <sup>a</sup> ± 0.019   |
| 7            | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 39.148 <sup>a</sup> ± 16.847         | 36.866 <sup>a</sup> ± 16.020 |
| 8            | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 72.320 <sup>a</sup> ± 72.242         | 56.437 <sup>a</sup> ± 14.282 |
| 9 to 14      | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000           | 0.007 <sup>a</sup> ± 0.000 | 46.381 <sup>a</sup> ± 4.612          | 36.400 <sup>a</sup> ± 1.971  |

Means ± standard deviations in the same column followed by a different letter are significantly different ( $p \leq 0.05$ ). Bread sample 9 actually represents samples 9 to 14.

## 4 Conclusion

Comparison of the parameters of interest in the studied bread samples using the two chosen algorithms showed that Otsu's method yielded a greater number of cells in the generated images; the number of cells parameter was significantly different; the mean cell area decreased with increasing whole-wheat flour content, regardless of the percentage of fat replacer used; and that the highest cell density parameter was found in sample 6, which was formulated with the highest relative whole-wheat flour content (95.35%WF+1.6%FR).

The results of image analysis with the chosen binarization algorithms may be used to investigate, approximate and predict different properties of breads.

In short, Otsu's method provided a more reliable representation of the crumb structure of bread, and is thus the most suitable in terms of structural representation of the crumb texture.

## Acknowledgements

The authors thank Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) for financial support.

## References

- American Association of Cereal Chemists – AACC. (2000). *Approved methods of analysis*. 10th ed. St Paul: AACC.
- Bárceñas, M. E., O-Keller, J. D., & Rosell, C. M. (2009). Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). *Journal of Food Engineering*, 94(3-4), 241-247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.012>.
- Brasil, Ministério da Saúde. (2005). *Guia alimentar para população brasileira: promovendo a alimentação saudável* (Normas e Manuais Técnicos, Série A). Brasília, DF.
- Collar, C., Santos, E., & Rosell, C. M. (2006). Significance of dietary fiber on the viscometric pattern of pasted and gelled flour-fiber blends. *Cereal Chemistry*, 83(4), 370-376. <http://dx.doi.org/10.1094/CC-83-0370>.
- Collar, C., Santos, E., & Rosell, C. M. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched Bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 820-826. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.026>.
- Dubois, D. K. (1978). Practical application of fibre materials in bread production. *The Bakers Digest*, 52(2), 30-33.
- Esteller, M. S., & Lannes, S. C. S. (2005). Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4), 802-806. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612005000400028>.
- Farrera-Rebollo, R. R., Salgado-Cruz, M. P., Chanaona-Pérez, J., Gutiérrez-Lopes, G. F., Alamilla-Beltrán, L., & Calderón-Domínguez, G. (2012). Evaluation of image analysis tools for characterization of sweet bread crumb structure. *Food Bioprocess Technology*, 5(2), 474-484. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0513-y>.
- Flander, L., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T., & Autio, K. (2007). Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *LWT - Food Science and Technology (Campinas)*, 40, 860-870.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., & Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3), 12-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011>.
- Gonzales-Barron, U., & Butler, F. (2006). A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 268-278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.007>.
- Heiman, A., & Lowengart, O. (2014). Calorie information effects on consumers' food choice: sources of observed gender heterogeneity. *Journal of Business Research*, 67(5), 964-973. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.08.002>.
- Hellyer, N. E., Fraser, I., & Haddock-Fraser, J. (2012). Food choice, health information and functional ingredients: An experimental auction employing bread. *Food Policy*, 37(3), 232-245. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.02.005>.
- Herbert, A. (2014). *ImageJ colocalisation plugins*. *ImageJ*. Retrieved from <http://www.sussex.ac.uk/gdsc/intranet/pdfs/Colocalisation.pdf>
- Hruskova, M., Svec, I., Hofmanova, T., & Dvorakova, J. (2012). Image analysis – comparison of recipe composition effect. *Procedia Engineering*, 42, 955-963. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.489>.
- Jackman, P., & Sun, D. (2013). Recent advances in image processing using image texture features for food quality assessment. *Trends in Food Science & Technology*, 29(1), 35-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.008>.
- Kihlberg, I., Johansson, L., Kohler, A., & Risvik, E. (2004). Sensory qualities of whole wheat pan bread—influence of farming system, milling and baking technique. *Journal of Cereal Science*, 39(1), 67-84. [http://dx.doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00067-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00067-5).
- Lodi, A., & Vodovotz, Y. (2008). Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond. *Cereal Chemistry*, 110, 554-561.
- Mandala, I., Karabela, D., & Kostaropoulos, A. (2007). Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature. I. Effect of chilling. *Food Hydrocolloids*, 21(8), 1397-1406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.007>.
- Mondal, A., & Datta, A. K. (2008). Bread Baking – A Review. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 465-474. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014>.
- Montgomery, D. C. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Iberoamérica.
- Mouliney, M., Lavery, B., Sharma, R., & Jenner, C. (2011). Waxy durum and fat differ in their actions as improvers of bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 317-323. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2011.06.009>.
- Oro, T. (2013). *Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral* (Tese de doutorado). Federal University of Santa Catarina, Florianópolis.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from grey-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>.
- Ozkoc, S. O., Sumnu, G., & Sahin, S. (2009). The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2182-2189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.04.003>.
- Polaki, A., Xasapis, P., Fasseas, C., Yanniotis, S., & Mandala, I. (2010). Fiber and hydrocolloid content affect the microstructural and sensory characteristics of fresh and frozen stored bread. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.031>.

- Pomeranz, Y., Shogren, M. D., Finney, K. F., & Bechtel, D. B. (1977). Fibre in breadmaking – Effects on functional properties. *Cereal Chemistry*, 54(1), 25-41.
- Pourfarzad, A., Mahadavian-Mehr, H., & Sedaghat, N. (2013). Coffee silverskin as a source of dietary fiber in bread-making: Optimization of chemical treatment using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology (Campinas)*, 50, 599-606.
- Prats-Montalbán, J. M., Juan, A., & Ferrer, A. (2011). Multivariate image analysis: a review with applications. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 107(1), 1-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemolab.2011.03.002>.
- Qing-guo, H., Min, Z., Mujumdar, A. S., Wei-hua, D., & Jin-cai, S. (2006). Effect of different drying methods on the quality changes of granular edamame. *Drying Technology*, 24(8), 1025-1032. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930600776217>.
- Ridler, T. W., & Calvard, S. (1978). Picture thresholding using an iterative selection method. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 8(8), 630-632. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1978.4310039>.
- Rosell, C. M., & Santos, E. (2010). Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 273-281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.008>.
- Sahoo, P. K., Soltani, S., & Wong, K. C. (1988). A survey of thresholding techniques. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 41(2), 233-260. [http://dx.doi.org/10.1016/0734-189X\(88\)90022-9](http://dx.doi.org/10.1016/0734-189X(88)90022-9).
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-Smietana, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT - Food Science and Technology (Campinas)*, 50, 679-685.
- Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34(10), 841-864. [http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00109-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00109-0).
- Scheuer, P. M., Mattioni, B., Barreto, P. L. M., Montenegro, F. M., Gomes-Ruffi, C. R., Biondi, S., Kilpp, M., & Francisco, A. (2014). Effects of fat replacement on properties of whole wheat bread. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. In press.
- Seyer, M., & Gélinas, P. (2009). Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. *Food Science and Technology (Campinas)*, 44(4), 688-693. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01819.x>.
- Skendi, A., Biliaderis, C. G., Papageorgiou, M., & Izydorczyk, M. S. (2010). Effects of two barley  $\beta$ -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*, 119(3), 1159-1167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.030>.
- Sturges, H. A. (1926). The Choice of a Class Interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21(153), 65-66. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1926.10502161>.
- Torri, L., Miglioni, P., & Masoero, G. (2013). Sensory test vs. electronic nose and/or image analysis of whole bread produced with old and modern wheat varieties adjuvanted by means of the mycorrhizal factor. *Food Research International*, 54, 1400-1408.
- Vuholm, S., Arildsen Jakobsen, L. M., Vejrum Sorensen, K., Kehlet, U., Raben, A., & Kristensen, M. (2014). Appetite and food intake after consumption of sausages with 10% fat and added wheat or rye bran. *Appetite*, 73, 205-211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2013.09.028>. PMID:24511620
- Wu, Y., Lin, Q., Chen, Z., Wu, W., & Xiao, H. (2012). Fractal analysis of the retrogradation of rice starch by digital image processing. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 182-187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.006>.
- Zahn, S., Pepke, F., & Rohm, H. (2010). Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(12), 2531-2537. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02444.x>.
- Zghal, M. C., Scanlon, M. G., & Sapirstein, H. D. (1999). Prediction of bread crumb density by digital image analysis. *Cereal Chemistry*, 76(5), 734-742. <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.5.734>.

APÊNDICE D – Resumo apresentado em forma de banner no *First International Workshop: Innovation in Food Science*, Florianópolis, 2014

## First International Workshop: Innovation in Food Science

# CERTIFICADO

Apresentou o resumo intitulado: **IMAGE ANALYSIS ALGORITHMS IN WHOLE WHEAT BREAD**, na forma de PÔSTER, de autoria de Patrícia Matos Scheuer; Bruna Mattioni; Marthá Zavariz de Miranda; Alicia de Francisco, no **First International Workshop Innovation In Food Science**, realizado no dia 16 e 17 de Outubro de 2014, no Mercure Convention Hotel, em Florianópolis- SC.



**Roseane Fett**  
Presidente do Evento



**Ana Carolina Maisonnave Arisi**  
Coordenadora do Comitê Científico



**Jane Mara Block**  
Presidente da SBOG



APÊNDICE E – Resumo apresentado em forma de banner no *XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Aracajú – Sergipe, 2014

# XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



Sociedade Brasileira de  
Ciência e Tecnologia de Alimentos



Homenagem pelo Centenário  
do Dr. Arião Toledo



Prof. Dr. Leopold Herman  
Hammingham - 110 Anos



INCT  
Instituto Nacional de  
Tecnologia de  
Frutos Tropicais



CNPq  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

IV CONGRESSO DO INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE FRUTOS TROPICAIS

## CERTIFICADO

### PATRÍCIA MATOS SCHEUER

Apresentou o resumo intitulado **IMAGE ANALYSIS TOOLS FOR CHARACTERIZATION OF WHOLE WHEAT BREAD WITH FAT REPLACER** na forma de PÔSTER, da autoria de: **PATRÍCIA MATOS SCHEUER, BRUNA MATTIONI, ALICIA DE FRANCISCO, MARTHA ZAVARIZ DE MIRANDA, VALÉRIA MARIA LIMBERGER BAYER** no **XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (XXIV CBCTA)** e no **IV Congresso do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Frutos Tropicais**, realizados no período de 25 a 29 de setembro de 2014, no Centro de Convenções de Sergipe, em Aracaju.

Prof. Dr. Narenda Narain  
Presidente do XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos  
Presidente do IV Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais  
Presidente da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos



APÊNDICE F – Artigo publicado Brazilian Journal of Pharmaceutical  
Sciences

## Effects of fat replacement on properties of whole wheat bread

Patrícia Matos Scheuer<sup>1,\*</sup>, Bruna Mattioni<sup>1</sup>, Pedro Luiz Manique Barreto<sup>1</sup>,  
Flávio Martins Montenegro<sup>2</sup>, Cristiane Rodrigues Gomes-Ruffi<sup>2</sup>, Sílvia Biondi<sup>2</sup>,  
Mariana Kilpp<sup>3</sup>, Alicia de Francisco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal University of Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, Brazil, <sup>2</sup>Food Technology Institute, Campinas, SP, Brazil,

<sup>3</sup>Federal Institute of Santa Catarina, IFSC, Florianópolis, SC, Brazil

Bread characteristics are dependent upon the chemical composition and fiber content of the wheat flour used. A healthy diet can help prevent chronic diseases, where whole grains and fewer calories from fat are components of a healthy diet. The aims of this study were to determine the centesimal composition of wheat flour samples (whole, refined, and flour blends) along with their farinographic parameters (water absorption, development time and stability) and also to verify the specific volume, crumb texture profile and digital imaging of bread loaves made with 60% whole wheat flour and 3% fat or fat replacer. Increasing the whole wheat flour percentage in the blends also increased levels of protein, ash and insoluble fiber. All the farinographic parameters were also increased. Enzymatically modified starch was found to be an effective fat replacer in whole wheat loaves. The loaves made using fat replacer had the same specific volume and higher cell density as those made with fat, but exhibited different texture profile parameters such as higher hardness value and lower springiness value.

**Uniterms:** Wheat flour/centesimal composition. Whole wheat bread/characteristics. Fat/replacers. Food fibers.

A composição química da farinha de trigo e a presença de fibras afeta as características dos pães. Uma forma de contribuir com a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis é através de alimentação saudável, incluindo grãos integrais na dieta alimentar e reduzindo as calorias de determinado alimento, substituindo a gordura. Assim, este trabalho tem como objetivo determinar a composição centesimal das amostras de farinha de trigo integral, refinada e as misturas entre elas; bem como os parâmetros farinográficos (absorção de água, tempo de desenvolvimento e estabilidade) das mesmas. Além disso, verificar volume específico, perfil de textura do miolo e análise de imagem de pães elaborados com 60% de farinha de trigo integral e com 3% de gordura ou com substituto de gordura. Os dados foram submetidos à análise de variância. A medida que aumenta o percentual de farinha integral, os teores de proteína, cinzas e fibra insolúvel alcançam valores significativamente maiores e a absorção de água fica maior na farinografia, bem como o tempo de desenvolvimento e a estabilidade. O amido modificado enzimaticamente utilizado na elaboração de pão com 60% de farinha de trigo integral funcionou como um efetivo substituto de gordura. O pão integral elaborado com substituto de gordura apresentou volume específico significativamente igual ao pão integral elaborado com gordura, porém com diferenças em relação a parâmetros do perfil de textura, maior firmeza e menor elasticidade além de maior densidade celular do que o pão elaborado com gordura.

**Unitermos:** Farinha de trigo/composição centesimal. Pão de trigo integral/characterísticas. Gordura/substitutos. Fibras alimentares.

\*Correspondence: P. M. Scheuer. Federal University of Santa Catarina – UFSC.  
Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, 88034-001 – Florianópolis – SC, Brasil.  
E-mail: [patriciamatosscheuer@gmail.com](mailto:patriciamatosscheuer@gmail.com)

## INTRODUCTION

Wheat is one of the ten most important commodities globally (FAO, 2010) and numbers among the world's 'big three' cereal crops in terms of harvested area. Wheat is the main staple food for approximately 35% of the world's population (Torres, 2008).

Of all the cereal grains, wheat is unique because only wheat flour can form dough with the rheological properties required for the production of leavened bread and the broad variety of foods that have been developed owing to these attributes (Gianibelli *et al.*, 2001). The grain structure (germ, scutellum, pericarp, aleurone layer and endosperm) which is extracted by the milling process affects the wheat flour composition (Kulp, Ponte, 1981). The unique properties of the wheat grain can be attributed primarily to the gluten-forming storage proteins of the endosperm. These dough-forming properties have made wheat the most important source of protein in the human diet (Gianibelli *et al.*, 2001).

Including whole-grains in the diet can impact health and lifestyle because the functional components of wheat, such as protein and fiber, help reduce the risk of chronic diseases, stroke, hypertension, cardiovascular disease and cancers (Jones, Engleson, 2010), osteoporosis (USA, 2010) and obesity (Mann, Cummings, 2009). While lipids lubricate (Ghotra, Dyal, Narine, 2002) and plasticize the dough, in particular the gluten polymers (Mehta *et al.*, 2009), fat should be restricted or reduced in the diet because it is the most important obesity factor (Valenzuela, Sanhueza, 2008) and non-communicable chronic disease factor (Brasil, 2005a).

The American Association of Cereal Chemists (AACC) has defined whole wheat flour as flour that has been prepared from wheat (other than durum) without altering the intact grain (AACC, 2000). All grains share the same basic anatomical structures: an outer bran layer, a germ fraction and a starchy endosperm (Hoseney, 1991). Grains are sources of abundant dietary fiber used to fortify foods, resulting in healthier products while grains also serve as a functional ingredient to improve the physical and structural properties of foods (Elleuch *et al.*, 2011).

Several national dietary guidelines suggest eating plenty of whole-grain cereal foods without added fat (Truswell, 2002). These cereals have high starch content as their energy source and provide dietary fiber, nutritious protein plus lipids rich in essential fatty acids and micronutrients, such as vitamins, minerals, antioxidants and phytochemicals (Dewettinck *et al.*, 2008).

A fat replacer is an ingredient that can provide the functions of fat yet with fewer calories (Choe *et al.*, 2013):

from 0 to 9 kcal/g. Fat replacers mimic the sensory and physical functions of fat and confer flavor, mouth feel, texture, structure and lubricity to food (ADA, 2005). An ideal fat replacer should have the same functionality as fat, be partially or totally undigested, and non-toxic (Valenzuela, Sanhueza, 2008). Modified starch is one such fat replacer. It has specific applications such as increasing water holding capacity and minimizing starch syneresis (Miyazaki *et al.*, 2006).

A food can be called a 'whole-grain food' when at least 51% of the grain ingredients are whole grains, according to the Whole Grain Council (2013). The Food and Drug Administration stipulate that low-fat foods must contain  $\leq 3$  g fat per reference amount (FDA, 2010).

The aim of this study was to characterize the chemical and farinographic properties of whole wheat flour, refined wheat flour and different percentage blends of the two. Additionally, the specific volume, texture profile and image analysis of whole wheat bread made using fat or a fat replacer were analyzed.

## MATERIAL AND METHODS

### Material

Commercially refined wheat flour and whole wheat flour for bread making, harvested in 2012 and stored at  $-18$  °C, were provided by Cooperativa Agrária Agroindustrial, Guarapuava, Paraná - Brazil. Selectamylx C150 an enzymatically modified corn starch used in this work as a commercial fat replacer, was provided by Dutch Starches International, Netherlands. Moreover, commercial vegetable fat by Bunge (Brazil) was added to produce the bread dough.

Different blends of whole wheat flour (WF) and refined wheat flour (RF) were prepared and encoded: 100WF (100%WF); 95.35WF (95.35%WF + 4.65%RF); 85WF (85%WF + 15%RF); 60WF (60%WF + 40%RF); 35WF (35%WF + 65%RF); 24.64WF (24.64%WF + 75.36%RF); 0% WF (100%RF).

### Methods

The chemical characteristics of the flours were measured in duplicate by AACC Approved Methods (AACC, 2000). Moisture (44-15A), lipids (30-25), ash (08-01), total starch (76-13), insoluble and soluble dietary fiber (IDF, SDF) (32-07) and protein were measured using the Kjeldahl method (46-10, nitrogen to protein conversion factor was 5.7 for refined wheat flour, 5.83 for whole wheat flour and 5.76 for flour blends). The farinogram curves

were obtained in duplicate using Brabender Org Duisburg equipment (Brabender, Germany), model Type 820600, method 54-21 (AACC, 2000), to measure and record the resistance of the dough to mixing under experimental conditions. The bread loaves were made in duplicate according to the optimized straight dough bread-making method 10-10B (AACC, 2000) with a 60 min fermentation time and based on the following formulation: whole wheat flour (60%), refined wheat flour (40%), sucrose (6%), instant active dry yeast (1.8%), chemically pure salt-NaCl (1.5%), shortening (hydrogenated vegetable fat) or enzymatically-modified maize starch as a fat replacer (3%), and tap water (Flander *et al.*, 2007). The amount of water used corresponded to 86% of the water absorption content based on the farinogram and was optimized in preliminary assays (methodology adapted from Seyer and Gélinas (2009)). The ingredients were mixed at the second speed for 6 min (Oro, 2013; Flander *et al.*, 2007) in a mixer (Lider model RPD 25, Brazil). The temperature of the dough was kept at 28–29 °C after mixing. Subsequently, 900-g pieces of dough were placed in a proofing cabinet (Perfecta model CFC20, Brazil) at 30 °C and 85% relative humidity for 35 min. The dough was then kneaded once, fermented for 17 min then kneaded again and fermented for the further 8 min. The dough was sheeted by hand, placed into a rectangular mold (9.5 cm × 20 cm × 4.5 cm) and fermented for 24 min. The dough was baked in a revolving oven (Lider model Ventile, Brazil) for 24 min at 180 °C. After cooling for 1 h at room temperature on metal grids, the technological parameters of the loaves were measured in triplicate. The finished loaves were rectangular with curved upper crust. The specific volume (SV), a technological parameter, was determined by the rapeseed displacement method 10-05 (AACC, 2000) and measured in duplicate. The crumb texture profile analysis (TPA) was performed on eight 25 mm cubes from the center of each loaf, according to method 74-10A (AACC, 2000). The TPA was measured in duplicate with a Texture Analyzer TA-XT Plus (Stable Micro System, Surrey, UK) equipped with a 50 kg load cell and a 36 mm aluminum cylindrical probe, which underwent two double compression tests up to 40% penetration of the original height (distance of 10 mm) at a crosshead speed of 2 mm/s with a 5 s gap between compressions of the crumb cubes. Four textural parameters were extracted from the curves: hardness (force necessary to attain a given deformation), springiness (rate at which a deformed material returns to the undeformed condition after the deforming force is removed), cohesiveness (strength of the internal bonds making up the body of the product) and chewiness (the energy required to masticate a solid product to a state ready for swallowing) (Szczeniak, 2002).

The crumb cell analysis was performed by scanning 1-cm-thick longitudinal and cross section samples of each loaf (Pourfarzad, Mohebbi, Mazaheri-Tehrani, 2012). Images of the three slices were acquired on a scanner (Multifunctional Brother DCP – 7065DN, Japan). The brightness and contrast parameters of the scanner program were set to the default values (zero) for all samples. The images were saved as bitmap files at a resolution of 150 dots per inch (dpi) in the Red-Green-Blue (RGB) color modern and bmp format. The values of the scanned images were obtained in pixels and converted into millimeters by using known length values. A single 40 mm x 40 mm square field of view was evaluated for each image. The free GNU Image Manipulation Program (GIMP), USA, version 2.6, was used to make the two measurements. After cropping, the images were pre-processed and converted to greyscale (8 bit). The pre-processing (change to grey-level), segmentation (manual thresholding tool with greyscale polarization into binary images from 0 to 106) and crumb grain measurements (extraction of parameters) were carried out using the ImageJ software Fiji 1.46 freeware, USA. The following crumb grain properties were extracted and calculated: number of cells (objects); mean cell area (mm<sup>2</sup>); cell density (n° cell/mm<sup>2</sup>) and circularity.

Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test (significance level  $p \leq 0.05$ ) were used to determine the significance of the data. The statistical analysis and graphical representations were performed using STATISTICA 7.0 software, Copyright StatSoft (USA), Inc. 1984-2004.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Flour chemical analysis

All flour samples (whole flour, refined flour and mixes) were analyzed chemically and the results are given in Table I.

The wheat flour moisture analysis results ranged from 11.94% for WF to 13.63% for RF. The moisture content of all of the samples followed the highest value of flour moisture (15% for RF and 13% for WF) (Brasil, 2005b).

The total protein content of the flours ranged from 10.91% to 13.85%, corresponding to RF and WF, respectively. The protein content of WF was significantly higher than the other flour samples ( $p \leq 0.05$ ).

The RF protein values agree with the results obtained by Park *et al.* (2010) and Barros *et al.* (2010). The WF protein values agree with results obtained by

**TABLE I** - Chemical characterization of flours

| Sample (% WF) | Moisture (%)               | Protein (%)                | Ash (%)                    | Lipids (%)               | IDF (%)                   | SDF (%)                   | Total Starch (%)            |
|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 100           | 11.94 <sup>b</sup> ± 0.12  | 13.85 <sup>a</sup> ± 0.59  | 1.78 <sup>a</sup> ± 0.14   | 2.80 <sup>a</sup> ± 0.55 | 12.30 <sup>a</sup> ± 0.25 | 2.90 <sup>ab</sup> ± 0.23 | 55.46 <sup>c</sup> ± 0.66   |
| 95.35         | 12.59 <sup>ab</sup> ± 1.34 | 12.90 <sup>b</sup> ± 0.05  | 1.68 <sup>ab</sup> ± 0.18  | 2.72 <sup>a</sup> ± 0.60 | 11.89 <sup>a</sup> ± 0.07 | 3.17 <sup>a</sup> ± 0.75  | 54.74 <sup>c</sup> ± 0.55   |
| 85            | 12.50 <sup>ab</sup> ± 0.56 | 12.88 <sup>b</sup> ± 0.07  | 1.48 <sup>abc</sup> ± 0.17 | 2.53 <sup>a</sup> ± 0.54 | 10.72 <sup>b</sup> ± 0.52 | 3.09 <sup>ab</sup> ± 0.23 | 56.88 <sup>cd</sup> ± 0.85  |
| 60            | 12.38 <sup>b</sup> ± 1.27  | 12.23 <sup>bc</sup> ± 0.02 | 1.15 <sup>bcd</sup> ± 0.18 | 2.91 <sup>a</sup> ± 0.17 | 8.07 <sup>c</sup> ± 0.09  | 2.55 <sup>ab</sup> ± 0.17 | 58.57 <sup>cd</sup> ± 0.73  |
| 35            | 13.01 <sup>ab</sup> ± 0.26 | 11.72 <sup>cd</sup> ± 0.12 | 0.92 <sup>cdc</sup> ± 0.13 | 1.74 <sup>a</sup> ± 0.33 | 5.45 <sup>d</sup> ± 0.25  | 2.09 <sup>ab</sup> ± 0.06 | 60.86 <sup>abc</sup> ± 0.08 |
| 24.64         | 13.04 <sup>ab</sup> ± 0.52 | 11.62 <sup>cd</sup> ± 0.10 | 0.76 <sup>de</sup> ± 0.06  | 1.86 <sup>a</sup> ± 0.22 | 3.83 <sup>c</sup> ± 0.09  | 1.71 <sup>b</sup> ± 0.06  | 63.33 <sup>ab</sup> ± 1.04  |
| 0             | 13.63 <sup>a</sup> ± 0.49  | 10.91 <sup>d</sup> ± 0.07  | 0.53 <sup>e</sup> ± 0.06   | 2.27 <sup>a</sup> ± 0.31 | 1.93 <sup>f</sup> ± 0.08  | 2.08 <sup>ab</sup> ± 0.41 | 64.84 <sup>a</sup> ± 0.34   |

Mean values ± standard deviation in the same column followed by a different letter are significantly different ( $p \leq 0.05$ ), in duplicate. Results expressed as moisture basis, per-cent. N x 5.7 for RF, 5.83 for mix of WF and 5.76 for mix of WF and RF samples. Variables: WF, Whole Wheat Flour; RF, Refined Wheat Flour; IDF, Insoluble Dietary Fiber; SDF, Soluble Dietary Fiber.

Barros *et al.* (2010) and Doblado-Maldonado *et al.* (2012). According to Oro (2013), variations in protein content can be caused by differences in the percentage of WR and RF in the flour mix. The environmental conditions and fertilization of wheat cultivars can significantly influence the protein content of the resulting flour (Turnbull, Rahman, 2002).

The ash content ranged between 0.53% and 1.78% for RF and WF, respectively (Table I).

Park *et al.* (2010) obtained similar ash content values for RF whereas Doblado-Maldonado *et al.* (2012) reported lower ash content for WF than the level found in the present study. The mineral fraction represented by the ash content of wheat was located primarily in the pericarp; therefore, the ash content should be low for RF, indicating low contamination in the milling process (Chiang, Chen, Chang, 2006).

In this study, WF displayed significantly higher protein and ash contents (Table I) ( $p \leq 0.05$ ). These variations most likely occurred because both WF and RF were made from the same batch of grains.

The lipid content ranged from 1.74% to 2.91% (Table I) and did not differ significantly ( $p \geq 0.05$ ) across the wheat flour samples.

The lipid content of the WF was 2.80%, higher than the values obtained by Oro (2013) (1.90 and 2.10%) and by Prabhasankar and Rao (2001) (1.30 and 2.00%). We found that WF had higher lipid content than RF, which agrees with the results of Chung *et al.* (2009).

The IDF was between the minimum value of 1.93% for RF and the maximum value of 12.30% for WF. The IDF values for 100% WF and 95.35% WF are significantly higher than the values of the other samples ( $p \leq 0.05$ ). For all other samples, the significance of the IDF decreased as the WF percentage decreased ( $p \leq 0.05$ ) (Table I). The

SDF content of the flours ranged from 3.17% to 1.71%. The lowest SDF value was significantly lower than the other values, which did not differ significantly ( $p \geq 0.05$ ) (Table I).

The IDF increased proportionally to the WF percentage because whole grains have higher fiber content (USA, 2010) than refined grains, as the fiber is mainly located in the pericarp of wheat (Atwell, 2001). Similar results for WF IDF were observed by Seyer and Gállinas (2009).

The SDF for RF was 2.08%, consistent with the values obtained by Seyer and Gállinas (2009).

The total starch content ranged from 54.74% to 64.84% and increased with decreasing WF percentage, reaching the highest significant value ( $p \leq 0.05$ ) for RF (0%WF).

Total starch values for high % WF were in agreement with results obtained by Fujita and Figueroa (2003). Chanvrier *et al.* (2007) found a total starch content in RF of 67%, a level similar to the results of this study.

## Flour farinography

The farinographic characterization of all flour samples (whole flour, refined flour and flour mixes) are shown in Table II.

The water absorption (WA) content ranged from 57.40% to 62.85% (Table II).

Park *et al.* (2010) obtained similar WA contents for RF using a mixograph. Kihlberg *et al.* (2004) found similar WA contents for WF on a farinograph. WA values significantly increased for higher WF percentages ( $p \leq 0.05$ ), in line with Sudha *et al.* (2007) and Noort *et al.* (2010). Rosell *et al.* (2001) reported that the differences in WA are caused predominantly by the greater number

**TABLE II** - Farinographic characterization of flours

| Sample (% WF) | WA (%)                    | DT (minutes)               | ST (minutes)               |
|---------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 100           | 62.85 <sup>a</sup> ± 0.21 | 17.00 <sup>a</sup> ± 2.12  | 38.00 <sup>a</sup> ± 2.12  |
| 95.35         | 62.40 <sup>a</sup> ± 0.00 | 13.75 <sup>ab</sup> ± 1.06 | 38.50 <sup>a</sup> ± 0.00  |
| 85            | 60.75 <sup>b</sup> ± 0.49 | 11.00 <sup>bc</sup> ± 0.00 | 30.50 <sup>a</sup> ± 12.73 |
| 60            | 57.70 <sup>c</sup> ± 0.00 | 10.25 <sup>bc</sup> ± 0.35 | 26.00 <sup>ab</sup> ± 2.83 |
| 35            | 57.40 <sup>d</sup> ± 0.00 | 8.50 <sup>c</sup> ± 1.41   | 10.00 <sup>b</sup> ± 0.00  |
| 24.64         | 57.50 <sup>d</sup> ± 0.14 | 9.00 <sup>c</sup> ± 0.00   | 8.50 <sup>b</sup> ± 0.71   |
| 0             | 59.70 <sup>d</sup> ± 0.28 | 2.75 <sup>d</sup> ± 0.35   | 10.00 <sup>b</sup> ± 0.00  |

Mean values ± standard deviation in the same column followed by a different letter are significantly different ( $p \leq 0.05$ ), in duplicate. Farinographic properties: WA, Water Absorption (based on 14% humidity); DT, Development Time; ST, Stability. Variable: WF, Whole Wheat Flour.

of hydroxyl groups that exist in the fiber structure, which allows for more water interaction through hydrogen bonding. WA is influenced by protein content and starch damage caused by the milling process (Bockstaele *et al.*, 2008; Gélinas *et al.*, 2009), which may explain the 100% WF characterization in this study. Moreover, the fiber present in WF increased the WA (Gómez, Gonzáles, Oliete, 2012).

For the development time (DT), the 100% WF (17.00 min) and 95.35% WF (13.75 min) had significantly higher values ( $p \leq 0.05$ ) than the RF (2.75 min) (Table II).

Kihlberg *et al.* (2004) found a maximum DT of 15 min for WF. DT increases when fiber fractions are added to the flour because the fiber absorbs water (Noort *et al.*, 2010), a phenomenon also observed in the present study (17 min).

For stability (ST), the 100% WF (38.00 min) and 95.35% WF (38.50 min) had significantly higher values ( $p \leq 0.05$ ) than RF (10.00 min) (Table II).

The ST values of this study agree with results obtained by Indrani and Rao (2007), who found that dough ST can be characterized as an indicator parameter of mixing resistance; and also mirrored the results of

Gómez *et al.* (2003), who found that the addition of fiber increases dough ST. Seyer and Gélinas (2009) examined RF and reported a DT of 2.6 min, ST of 10.7 min, 11.2% protein content, and 0.52% ash content. These findings are similar to the results observed in this study.

### Bread specific volume

The SV of the loaves made with 60% WF are given in Table III. No significant difference ( $p \geq 0.05$ ) was found between the loaves made using the fat replacer (1.87 cm<sup>3</sup>/g) or fat (2.00 cm<sup>3</sup>/g) (Table III).

The greater SV seen in the fat loaf might have been due to the crystalline lipid that coats the gluten proteins and starch granules (Chin *et al.*, 2010). The added solid lipid uniformly distributes within the gluten network between the starch granules, forming thin and easily expandable gluten films with less tendency to contract after expansion (Watanabe, Yokomizo, Eliasson, 2003). Shortening works as a gas-stabilizing agent during bread making and influences the incorporation of air into the dough (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010) which in turn affects loaf volume (Pareyt *et al.*, 2011).

**TABLE III** - Specific volume and texture profile analysis of bread loaves

| Samples                     | SV (cm <sup>3</sup> /g)      | Texture profile analysis        |                            |                            |                              |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
|                             |                              | Hardness (g)                    | Springiness                | Cohesiveness               | Chewiness (g)                |
| Loaf made with fat replacer | 1.8734 <sup>a</sup> ± 0.2325 | 1162.514 <sup>a</sup> ± 357.714 | 0.500 <sup>b</sup> ± 0.169 | 0.455 <sup>a</sup> ± 0.122 | 306.19 <sup>a</sup> ± 228.67 |
| Loaf made with fat          | 2.0049 <sup>a</sup> ± 0.1030 | 686.038 <sup>b</sup> ± 149.166  | 0.672 <sup>a</sup> ± 0.140 | 0.530 <sup>a</sup> ± 0.069 | 241.31 <sup>a</sup> ± 69.32  |

Mean values ± standard deviation in the same column followed by a different letter are significantly different ( $p \leq 0.05$ ), in duplicate. SV, Specific Volume.

**TABLE IV** - Image analysis parameters of bread loaves

| Samples                     | Number of cells (objects)     | Mean cell area (mm <sup>2</sup> ) | Cell density (n° cell/mm <sup>2</sup> ) | Circularity                |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------|
| Loaf made with fat replacer | 1431.50 <sup>a</sup> ± 286.37 | 0.117 <sup>a</sup> ± 0.029        | 12255.34 <sup>a</sup> ± 586.56          | 0.826 <sup>a</sup> ± 0.011 |
| Loaf made with fat          | 1201.50 <sup>a</sup> ± 3.54   | 0.211 <sup>a</sup> ± 0.017        | 5688.42 <sup>b</sup> ± 301.99           | 0.812 <sup>a</sup> ± 0.006 |

Mean values ± standard deviation in the same column followed by a different letter are significantly different ( $p \leq 0.05$ ), in triplicate.

The SV value for the fat loaf agrees with results obtained for a loaf prepared with RF, which had an SV range of 1.80 to 2.05 cm<sup>3</sup>/g (El-Porai *et al.*, 2013), and for a loaf prepared with 100% WF, which had an SV range of 2.82 to 4.14 cm<sup>3</sup>/g (Seyer, Gélinas, 2009).

The SV value of the fat replacement loaf agrees with results obtained for bread made with 0.5% guar gum (SV of 2.5 cm<sup>3</sup>/g) (Skara *et al.*, 2013), 1.4%  $\beta$ -glucan (SV of 2.26 cm<sup>3</sup>/g) (Skendi *et al.*, 2010), 40% amaranth flour (SV of 2.51 cm<sup>3</sup>/g) (Sanz-Penella *et al.*, 2012) or with 10% fiber (SV of just over 2.3 cm<sup>3</sup>/g after 6 days of storage) (Rosell, Santos, 2010).

### Bread crumb texture profile analysis (TPA)

The bread crumb texture profile analysis of loaves made with 60% WF and fat replacer or fat are reported in Table III. The TPA results showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) in bread hardness and springiness between loaves made using fat replacer (1162.514 g and 0.500, respectively) and loaves made with hydrogenated vegetable fat (686.038 g and 0.678, respectively) (Table III). No significant differences ( $p \geq 0.05$ ) were observed for cohesiveness and chewiness (Table III).

Similar hardness results for bread made with fat were obtained in breads made with 10% fiber mix and no fat (Rosell, Santos, 2010); in breads with 2% cellulose after 72 h of storage (Gómez *et al.*, 2003); and in breads made with 2.5% fat (O'Brien *et al.*, 2003).

Similar hardness results for bread with fat replacer were obtained in breads made with 2.5% inulin powder (O'Brien *et al.*, 2003), a carbohydrate-based fat replacer that results in higher crumb hardness than in bread made with fat. The increase in crumb hardness could be a consequence of the thickening of walls surrounding the gas cells that occurs upon the addition of hydrocolloids into bread formulas (Rosell, Rojas, Barber, 2001). Furthermore, an increase in bread hardness may result from a decrease in the total area of the gas cell; greatest crumb hardness is usually observed in breads with the lowest loaf volume.

Cohesiveness is higher in loaves made with fat, as observed by Collar *et al.* (1999), while more cohesive

dough results in higher SV and softer loaves.

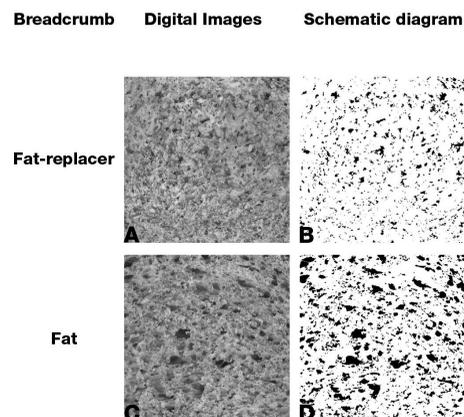
In this study, the loaf containing fat had a softer breadcrumb than the loaf containing the fat replacer. Furthermore, the loaf made using the fat replacer had lower springiness (capacity to return to undeformed condition after deforming force is removed from the bread) than the loaf made with fat.

### Image analysis

There were no significant differences ( $p \geq 0.05$ ) between the image analysis parameters (number of cells, mean cell area and circularity of bread loaves) for the loaves made with fat and those containing fat replacer (Table IV).

The bread made with fat replacer had significantly higher cell density (12255.34 n° cell/mm<sup>2</sup>) ( $p \leq 0.05$ ) than the bread made with fat (5688.42 n° cell/mm<sup>2</sup>) (Table IV). The cell density was calculated by dividing the number of cells by the mean cell area.

Bread made using the fat replacer had a more compact structure (Figure 1A, 1B) with smaller pores than the bread made with fat (Figure 1C, 1D).

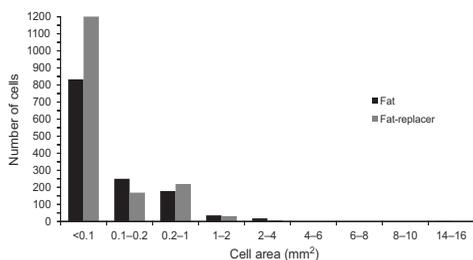


**FIGURE 1** - Breadcrumb image analysis (40 mm x 40 mm crumb area).

The bread made with fat replacer (Figure 1A, 1B) had smaller pores (cell area  $<0.1 \text{ mm}^2$ ) and a lower cell density than the bread made with fat (Figure 1C, 1D). These results agree with those obtained by Polaki *et al.* (2010) in oat bread. The main function of the fat ingredient is to entrap air into the batter during mixing, which could explain the loss of pore size in the bread with fat replacer. When the air begins to expand, the fat crystals that are adsorbed to the air–water interface melt and release the fat–water interface for bubble expansion. Large numbers of adsorbed crystals release sufficient interface to allow the bubbles to expand without rupturing (Kocer *et al.*, 2007). Different breadcrumb textures might be attributed to the different amount of air incorporated into the dough as a consequence of the differing consistency of the breads (Rosell, Santos, 2010).

According to Polaki *et al.* (2010), the pore distribution reveals information about the effect on bread structure. Pores can be small (area  $<4 \text{ mm}^2$ ), medium (area  $4\text{--}8 \text{ mm}^2$ ) or large (area  $>8 \text{ mm}^2$ ).

The pores of the breads made with fat (Figure 1C, 1D) and with fat replacer (Figure 1A, 1B) were characterized as small (Figure 2). Large pores, with cell area  $8\text{--}10$  and  $14\text{--}16 \text{ mm}^2$ , were especially evident in breadcrumbs made with fat (Figure 2), in agreement with results obtained in polydextrose bread by Polaki *et al.* (2010).



**FIGURE 2** - Histogram: Number of cells by cell area of loaves produced with fat and with fat replacer.

No significant differences were observed in cell circularity between the bread made with fat replacer and the bread made with fat. Rosell and Santos (2010) showed that use of inulin, hydroxypropylmethylcellulose or locust bean gum did not influence the mean cell area.

Bread made with fat replacer presented a smaller specific volume, a smaller mean cell area and a higher cell density, in agreement with results found in wheat bread made with corn and oat (Hruskova *et al.*, 2012).

## CONCLUSION

As expected, WF (100%) had significantly higher values for protein, lipid, ash, fiber and total starch contents than RF. Higher percentages of WF were associated with greater WA on farinograph and also increased the dough's DT and ST. These results can be attributed to the increase in the fiber, which affects the technological parameters of the bread.

An increase in crumb hardness and a decrease in crumb springiness were observed in breads with a fat replacer, as compared with fat-containing bread.

Enzymatically-modified starch was found to be an effective fat replacer in whole wheat loaves - a staple food that besides being a good source of fiber also contains fewer calories.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) for the financial support, the Cooperativa Agrária Agroindustrial for providing the wheat flours and also Dutch Starches International for providing the commercial fat replacer.

## REFERENCES

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC. *Approved methods of analysis*. 10ed. St Paul: AACC International, 2000. 1018 p.
- AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION. ADA. Position of the american dietetic association: fat replacers. *J. Am. Diet. Assoc.*, v.105, n.2, p.266-275, 2005.
- ALVAREZ-JUBETE, L.; AUTY, M.; ARENDT, E.K.; GALLAGHER, E. Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten free bread formulations. *Eur. Food Res. Technol.*, v.230, n.3, p.437-445, 2010.
- ATWELL, W.A. *Wheat flour*. Eagen press handbook series. St. Paul: AACC, 2001. 134 p.
- BARROS, F.; ALVIOLA, J.N.; ROONEY, L.W. Comparison of quality of refined and whole wheat tortillas. *J. Cereal Sci.*, v.51, n.1, p.50-56, 2010.

- BOCKSTAELE, F.V.; LEN, I.D.; EECKHOUT, M.; DEWETTINCK, K. Rheological properties of wheat flour dough and the relationship with bread volume I. Creep-recovery measurements. *Cereal Chem.*, v.85, n.6, p.753-761, 2008.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação Geral da Política de Alimentação e Nutrição. Guia Alimentar para População Brasileira. Série A. Normas e Manuais Técnicos. Brasília, 2005a. Available at: [http://www.sonutricao.com.br/downloads/Guia\\_Alimentar\\_Populacao\\_Brasileira.pdf](http://www.sonutricao.com.br/downloads/Guia_Alimentar_Populacao_Brasileira.pdf). Accessed on: Aug. 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8 de 02 de junho de 2005b. Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade da Farinha de Trigo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 jun. 2005b. Seção 1, n.105, p.91.
- CHANVRIER, H.; UTHAVAKUMARAN, S.; LILLFORD, P. Rheological properties of wheat flour processed at low levels of hydration: Influence of starch and gluten. *J. Cereal Sci.*, v.45, n.3, p.263-274, 2007.
- CHIANG, S.; CHEN, C.; CHANG, C. Effect of wheat flour protein compositions on the quality of deep-fried gluten balls. *Food Chem.*, v.97, n.4, p.666-673, 2006.
- CHIN, N.L.; RAHMAN, R.A.; HASHIM, D.M.; KOWNG, S.Y. Palm oil shortening effects on baking performance of white bread. *J. Food Process Eng.*, v.33, n.3, p.413-433, 2010.
- CHOE, J.; KIM, H.; LEE, J.; KIM, Y.; KIM, C. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. *Meat Sci.*, v.93, n.4, p.849-854, 2013.
- CHUNG, O.K.; OHM, J.B.; RAM, M.S.; PARK, S.H.; HOWITT, C.A. Wheat lipids in wheat chemistry and technology. In: KHAN, K.; SHEWRY, P. R. *Wheat: chemistry and technology*. St. Paul: AACC, 2009. p.363-399.
- COLLAR, C.; ANDREU, P.; MARTÍNEZ, J.C.; ARMERO, E. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. *Food Hydrocolloid*, v.13, n.6, p.467-475, 1999.
- DEWETTINCK, K.; BOCKSTAELE, F.V.; KÜHNE, B.; VAN DE WALLE, V.; COURTENS, T.M.; GELLYNCK, X. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *J. Cereal Sci.*, v.48, n.2, p.243-257, 2008.
- DOBLADO-MALDONADO, A.F.; PIKE, O.A.; SWELEY, J.C.; ROSE, D.J. Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. *J. Cereal Sci.*, v.56, n.2, p.119-126, 2012.
- ELLEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O.; BESBES, S.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chem.*, v.124, n.2, p.411-421, 2011.
- EL-PORAI, E.S.; SALAMA, A.E.; SHARAF, A.M.; HEGAZY, A.I.; GADALLAH, M.G.E. Effect of different milling processes on Egyptian wheat flour properties and pan bread quality. *Ann. Agric. Sci.*, v.58, n.1, p.51-59, 2013.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO. For a world without hunger. Available at: [http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE\\_TOP\\_20](http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE_TOP_20). Accessed on: July 2012.
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. FDA. Nutrition labeling and education requirements. Available at: <http://www.fda.gov/ICECI/Inspections/InspectionGuides/ucm114092.htm>. Accessed on: Apr. 2013.
- FLANDER, L.; SALMENKALLIO-MARTILA, M.; SUORTTI, T.; AUTIO, K. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *LWT – Food Sci. Technol.*, v.40, n.5, p.860-870, 2007.
- FUJITA, A.H.; FIGUEROA, M.O.R. Composição centesimal e teor de  $\beta$ -glucanas em cereais e derivados. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v.23, n.2, p.116-120, 2003.
- GÉLINAS, P.; MORIN, C.; REID, J.F.; LACHANCE, P. Wheat cultivars grown under organic agriculture and the bread making performance of stone-ground whole wheat flour. *Int. J. Food Sci. Technol.*, v.44, n.3, p.525-530, 2009.
- GHOTRA, B.S.; DYAL, S.D.; NARINE, S.S. Lipid shortenings: a review. *Food Res. Int.*, v.35, n.10, p.1015-1048, 2002.

- GIANIBELLI, M.C.; LARROQUE, O.R.; MACRITCHIE, R.; WRIGLEY, C.W. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. *Cereal Chem.*, v.78, n.6, p.635-646, 2001.
- GÓMEZ, M.; GONZÁLES, J.; OLIVETE, B. Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality. *Food Bioprocess Technol.*, v.5, n.6, p.2409-2418, 2012.
- GÓMEZ, M.; RONDA, F.; BLANCO, C.A.; CABALLERO, P.A.; APESTEGUÍA, A. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *Eur. Food Res. Technol.*, v.216, n.1, p.51-56, 2003.
- HOSENEY, R.C. *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Zaragoza: Acribia, 1991. 321 p.
- HRUSKOVA, M.; SVEC, I.; HOFMANOVA, T.; DVORAKOVA, J. Image analysis – comparison of recipe composition effect. *Procedia Eng.*, v.42, p.955-963, 2012.
- INDRANI, D.; RAO, G.V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of *parotta*. *J. Food Eng.*, v.79, p.100-105, 2007.
- JONES, J.M.; ENGLESON, J. Whole grains: benefits and challenges. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, v.1, p.19-40, 2010.
- KIHLBERG, I.; JOHANSSON, L.; KOHLER, A.; RISVIK, E. Sensory qualities of whole wheat pan bread – influence of farming system, milling and baking technique. *J. Cereal Sci.*, v.39, n.1, p.67-84, 2004.
- KOCER, D.; HICSASMAZ, Z.; BAYINDIRLI, A.; KATNAS, S. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. *J. Food Eng.*, v.78, n.3, p.953-964, 2007.
- KULP, K.; PONTE, J. G. Staling of white pan bread: Fundamental causes. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, v.15, n.1, p.1-48, 1981.
- MANN, J.I.; CUMMINGS, J.H. Possible implications for health of the different definitions of dietary fibre. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.*, v.19, n.3, p.226-229, 2009.
- MEHTA, K.L.; SCANLON, M.G.; SAPIRSTEIN, H.D.; PAGE, J.H. Ultrasonic investigation of the effect of vegetable shortening and mixing time on the mechanical properties of bread dough. *J. Food Sci.*, v.74, n.9, p.E455-E461, 2009.
- MIYAZAKI, M.; HUNG, P.V.; MAEDA, T.; MORITA, N. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. *Trends Food Sci. Technol.*, v.17, n.11, p.591-599, 2006.
- NOORT, M.W.J.; HAASTER, D.V.; HEMERY, Y.; SCHOLS, H.A.; HAMER, R.J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – Evidence for fibre – protein interactions. *J. Cereal Sci.*, v.52, n.1, p.59-64, 2010.
- O'BRIEN, C.M.; MUELLER, A.; SCANNELL, A.G.M.; ARENDT, E.K. Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. *J. Food Eng.*, v.56, n.2-3, p.265-267, 2003.
- ORO, T. *Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral*. Florianópolis, 2013. 157 p. [Thesis of PhD degree. Center of Agricultural Sciences. Federal University of Santa Catarina].
- PAREYT, B.; FINNEI, S.M.; PUTSEYS, J.A.; DELCOUR, J. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *J. Cereal Sci.*, v.54, n.3, p.266-279, 2011.
- PARK, C.; KANG, C.; CHENG, Y.; JUNG, W.; WOO, S. Influence of puroindoline genotypes on grain characteristics, physico-chemical properties of flour and end-use quality of Korean wheats. *Breeding Sci.*, v.60, n.3, p.233-242, 2010.
- POLAKI, A.; XASAPIS, P.; FASSEAS, C.; YANNIOTIS, S.; MANDALA, I. Fiber and hydrocolloid content affect the microstructural and sensory characteristics of fresh and frozen stored bread. *J. Food Eng.*, v.97, n.1, p.1-7, 2010.
- POURFARZAD, A.; MOHEBBI, M.; MAZAHARI-TEHRANI, M. Interrelationship between image, dough and Barbari bread characteristics; use of image analysis to predict rheology, quality and shelf life. *Int. J. Food Sci. Tech.*, v.47, n.7, p.1354-1360, 2012.
- PRABHASANKAR, P.; RAO, P. H. Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour. *Eur. Food Res. Technol.*, v.213, p.465-469, 2001.
- ROSELL, C.M.; ROJAS, J.A.; BARBER, C.B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloid*, v.15, n.1, p.75-81, 2001.
- ROSELL, C.M.; SANTOS, E. Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *J. Food Eng.*, v.98, n.2, p.273-281, 2010.

- SANZ-PENELLA, J.M.; WRONKOWSKA, M.; SORAL-SMIETANA, M.; HAROS, M. Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT - Food Sci. Technol.*, v.50, n.2, p.679-685, 2013.
- SEYER, M.; GÉLINAS, P. Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. *Int. J. Food Sci. Technol.*, v.44, n.4, p.688-693, 2009.
- SKARA, N.; NOVOTNI, D.; CUKELJ, N.; SMERDEL, B.; CURIC, D. Combined effects of inulin, pectin and guar gum on the quality and stability of partially baked frozen bread. *Food Hydrocolloid*, v.30, n.1, p.428-436, 2013.
- SKENDI, A.; BILIADERIS, C.G.; PAPAGEORGIOU, M.; IZYDORCZYK, M.S. Effects of two barley  $\beta$ -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chem.*, v.119, n.3, p.1159-1167, 2010.
- SUDHA, M.L.; VETRIMANI, R.; LEELAVATHI, K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chem.*, v.100, n.4, p.1365-1370, 2007.
- SZCZESNIAK, A.S. Texture is a sensory property. *Food Qual. Prefer.*, v.13, n.4, p.215-225, 2002.
- TORRES, G.A.M. Proteínas de reserva do trigo: o pão ou o biscoito nosso de cada dia (2008). Available at: <[www.agrolink.com.br/cereaisdeinverno/NoticiaDetalhe.asp?codNoticia=62613](http://www.agrolink.com.br/cereaisdeinverno/NoticiaDetalhe.asp?codNoticia=62613)> Accessed on: Jan. 2008.
- TRUSWELL, A.S. Cereal grains and coronary heart disease. *Eur. J. Clin. Nutr.*, v.56, n.1, p.1-14, 2002.
- TURNBULL, K.M.; RAHMAN, S. Endosperm texture in wheat. *J. Cereal Sci.*, v.36, n.3, p.237-337, 2002.
- UNITED STATES OF AMERICA. Department of Agriculture and Department of Health and Human Services. Dietary guidelines for americans, 2010. 7.Ed. Washington: Government Printing Office. Available at: <[www.dietaryguidelines.gov](http://www.dietaryguidelines.gov)> Accessed on: Mar. 2012.
- VALENZUELA, A.; SANHUEZA, S. Lípidos estructurados y los sustitutos de grasas: los lípidos del futuro. *Aceites y Grasas*, v.3, n.72, p.532-540, 2008.
- WATANABE, A.; YOKOMIZO, K.; ELIASSON, A.C. Effect of physical states of nonpolar lipids on rheology, ultracentrifugation, and microstructure of wheat flour dough. *Cereal Chem.*, v.80, n.3, p.281-284, 2003.
- WHOLE GRAINS COUNCIL. WGC. *A quick quiz on whole grains*. Available at: <<http://wholegrainscouncil.org/files/6-Standards+Definitions.pdf>> Accessed on: Apr. 2013.

Received for publication on 23<sup>rd</sup> August, 2013

Accepted for publication on 09<sup>th</sup> April 2014



# RELATIONSHIP BETWEEN INSTRUMENTAL AND SENSORY TEXTURE PROFILE OF BREAD LOAVES MADE WITH WHOLE-WHEAT FLOUR AND FAT REPLACER

PATRÍCIA MATOS SCHEUER<sup>1,5</sup>, MARCO DI LUCCIO<sup>2</sup>, ANDRÉ WÜST ZIBETTI<sup>3</sup>, MARTHA ZAVARIZ de MIRANDA<sup>4</sup> and ALICIA de FRANCISCO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cereal Laboratory, <sup>2</sup>Food Engineering, <sup>3</sup>Centro Tecnológico – CTC, Federal University of Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, 1346 – Itacorubi, Florianópolis, SC 88040-900, Brazil

<sup>4</sup>Grain Quality Laboratory, Brazilian Corporation for Agricultural Research – Embrapa Wheat, Passo Fundo, RS, Brazil

## KEYWORDS

Bread, fat replacer, sensory trained panel, texture profile, whole-wheat flour

<sup>5</sup>Corresponding author.

TEL: 55-48-37215369/ 5397;

FAX: 55-48-37215369/5397;

EMAIL: patriciamatosscheuer@gmail.com

Received for Publication May 5, 2015

Accepted for Publication August 7, 2015

Published online Article Accepted on August 13, 2015

doi:10.1111/jtxs.12155

## ABSTRACT

Food texture is one of the most widely measured quality attributes during processing and consumption, being measured by instrumental and sensory means. The aims of this study were to measure the textural parameters of the crumb of 14 whole-wheat bread loaves made with whole-wheat flour and fat replacer using instrumental methods and a sensory trained panel, and to determine the relationship between instrumental and sensory assessments. The data of instrumental and sensory texture were individually subjected to analysis of variance and correlated using principal component analysis. The analyses showed that for both (instrumental and sensory texture), the less firm, more elastic and more cohesive bread loaves have <60% whole-wheat flour, regardless of the content of fat replacer. The hardness attribute, measured with a texturometer, was consistent with the results of other published works and with our sensory evaluation as the matrix showed correlation coefficients with high values.

## PRACTICAL APPLICATIONS

Wheat bread is a common staple food around the world that can be used to deliver ingredients for specific health purposes. Diets rich in whole grain foods and low fat may be suggested to help to protect against several chronic diseases, as well as for weight management. At a pilot plant scale, it is very difficult to keep good quality standards for whole-wheat products. Therefore, instrumental and sensory studies on loaf texture were used to perform texture profile analysis on the crumb structure of 14 different types of whole-wheat bread loaves made with fat replacer (enzymatically modified corn starch).

## INTRODUCTION

Food texture is one of the most widely measured quality attributes during processing and consumption. Texture can be measured by means of objective (instrumental) and intrinsic subjective (sensory) tests (Szczesniak 1963).

Among the instrumental test devices, texturometers imitate mastication condition and present excellent correlation with sensory evaluation of texture (Szczesniak 1963). For this reason, they have been widely used to measure texture of different kinds of food. Instrumental measurements are usually cheaper and easier to achieve and thus represent an interesting alternative to the sensory

measurement of texture, provided that instrumental data can be related to sensory description. So, these instrumental measurements could be used to monitor bread quality during processing and storage (Lassoued *et al.* 2008).

Regarding sensory analysis in the mouth, the characteristics perceived include mechanical attributes (relating to the reaction to the applied force), geometrical attributes (relating to the shape, size and particle orientation inside the food) and attributes relating to perception of moisture or fat content (Szczesniak 2002). According to Lassoued *et al.* (2008), sensory evaluation is seldom used in baking industry, mostly because of cost, necessary time for training and managing a sensory panel, and difficulty in running a sensory evaluation of bread loaves made at a laboratory scale.

The accuracy of an objective method to measure a quality attribute of food is only determined by its correlation to the sensory evaluation of that attribute (Kokini 1985). Correlation between sensory and instrumental measurements of texture results in (1) finding instruments to measure quality control of food in industries; (2) predicting consumer response, as the degree of liking and the overall acceptance of a new product; (3) understanding what is being sensed and perceived in the mouth during the sensory assessment of texture; and (4) improving or optimizing instrumental methods to complement sensory evaluation (Szczesniak 1987).

The development of safer and healthier low-calorie products with acceptable functional and sensory characteristics (Collar *et al.* 2007) is demanded by customers a little more each day (Gómez *et al.* 2002).

Dietary fiber increases the nutritional value of bread but usually at the same time it alters the rheological properties of dough and bread sensory properties and quality (Gómez *et al.* 2002). Despite that dietary fiber has been proven to provide several beneficial metabolic and physiological effects, fiber replacement of wheat flour disrupts starch-gluten matrix and restricts gas cells to expand, affecting specific bread volume and crumb hardness (Rosell and Santos 2010), such as from the use of whole-wheat flour (WF) in breads (Seyer and Gélinas 2009).

While lipids lubricate and plasticize dough in the bread, in particular gluten polymers (Mehta *et al.* 2009), fat should be restricted or reduced in the diet because it is the most important obesity factor (Valenzuela and Sanhueza 2008) and noncommunicable chronic disease factor (Brasil 2005). Therefore, carbohydrate-based fat replacers (FRs) are able to stabilize substantial amounts of water, as a gel-like matrix. Such a property makes carbohydrate-based FRs similar to fats (Lucca and Tepper 1994). This can be observed in breads: sodium alginate, xanthan, k-carrageenan, hydroxypropyl methylcellulose (Guarda *et al.* 2004); modified starches (Miyazaki *et al.* 2006); inulin,

simplex (whey protein) (O'Brien *et al.* 2003); inulin, pectin, guar gum (Skara *et al.* 2013).

Principal component analysis (PCA) is a method of projection and dimensional data reduction (Krbí *et al.* 2005), in which there is an association between analyses in order to verify the degree of participation of each of them (Heenan *et al.* 2008), such as WF and FR in the instrumental and sensory texture parameters of breads.

It is intended to replace a set of correlated variables, a set of new uncorrelated variables, and being these linear combinations of the initial variables placed in descending order by their variances (Lopes 2001).

There is no research on bread loaves made with WF and FR, so the aims of this study were (1) to measure the textural parameters of a set of 14 whole-wheat bread crumbs made with WF and FR, using instrumental methods and a sensory trained panel, and (2) to determine the relationship between instrumental and sensory assessments.

## MATERIALS AND METHODS

### Materials

The study was conducted with commercial samples of WF and white flour (IF), obtained from the same batch of wheat, harvested 2012, provided by Cooperativa Agrária Agroindustrial, Guarapuava, state of Paraná, Brazil. These samples were stored at  $-18^{\circ}\text{C}$  until time of analysis. Aiming to promote the standardization and the study of the dependent variables, a representative sample of each type of flour (WF and IF) was used.

Modified corn starch by enzymatic conversion, commercially suitable for the preparation of bread, was used as a FR, donated by Dutch Starches International – DSI, the Netherlands, brand name Selectamylx C150.

### Methods

**Bread Samples.** For preparation of the bread loaves, WF and IF mixtures were prepared and samples were coded according to the percentage used: 95.35WF (95.35WF + 4.65IF); 85WF (85WF + 15IF); 60WF (60WF + 40IF); 35WF (35WF + 65IF); 24.64WF (24.64WF + 75.36IF) according to experimental design of the response surface methodology (RSM).

Bread loaves were prepared on a pilot scale and randomly selected twice according to the optimized straight-dough bread-making method (10-10B) (AACC International 2000), with a 60-min fermentation. Formulation was modified. The same level of ingredients method was as follows: wheat flour (100%), sucrose (6%), instant active dry yeast (1.8%), sodium chloride (1.5%), FR (3%) and tap water, according to Flander *et al.* (2007). The amount of water

used corresponded to 86% of the water absorption content as determined by Farinograph analysis (method adapted from Seyer and Gélinas 2009). The ingredients were mixed at speed setting 2 for 6 min (Flander *et al.* 2007; Oro 2013) in a commercial mixer (RPD 25, Líder, Curitiba, Brazil). Dough temperature was kept at 28–29°C after mixing. Subsequently, 500-g pieces of dough were placed in a proofing cabinet (CFC20, Perfecta, Curitiba, Brazil) at 30°C and 85% relative humidity for 35 min. Dough was then kneaded once, fermented for 17 min, kneaded again and fermented for further 8 min. Dough was sheeted manually, placed into a rectangular mold (9.5 × 20 × 4.5 cm) and fermented for 24 min. Finally, dough was baked in an electric oven (Ventile, Líder, Curitiba, Brazil) for 24 min at 180°C and cooled for 1 h at room temperature on metal racks.

**Experimental Design.** The experiment was designed using the rotatable central composite design of RSM, a well-established statistical procedure (Box and Draper 2007). It is widely applied to research on bread where there is replacement of some ingredients to design enriched fiber and low-calorie wheat bread formulation [wheat bran, resistant starch and locust bean gum (Almeida *et al.* 2013); inulin, sugar beet, pea cell wall, pea hull (Collar *et al.* 2007); inulin, pectin or guar gum (Skara *et al.* 2013)].

The rotatable central composite design yielded 14 experiments as follows: four factorial treatments, in which two factors were %WF (percentage of whole-wheat flour) and %FR (percentage of fat replacer), each with two levels coded to  $-1$  and  $+1$ ; four axial treatments including minimum and maximum levels of each factor coded as  $-\alpha$  and  $+\alpha$ , where  $\alpha = (2^2)^{1/4} = 1.414$ ; and one central treatment repeated six times, to estimate pure experimental error and calculate method reproducibility, in which all factors are coded as zero. The real values of the two variables are shown in Table 1.

### Bread Texture Profile Evaluation

**Instrumental.** Crumb texture profile analysis (TPA) was performed on eight 25-mm cubes from the center of each loaf, according to method 74-10A (AACC International 2000). Four textural parameters were extracted from the curves: hardness, springiness, cohesiveness and chewiness. According to Szczesniak (2002), hardness is the force necessary to attain a given deformation; springiness is the rate at which a deformed material returns to the undeformed condition after deforming force is removed; cohesiveness is the strength of the internal bonds making up the body of the product; and chewiness is the energy required to masticate a solid product to a state ready for swallowing.

TPA was measured in duplicate with Texture Analyzer TA-XT Plus (Stable Micro System, Surrey, U.K.) equipped with a 50-kg load cell and a 36-mm aluminum cylindrical

**TABLE 1.** BREAD COMPOSITION

| Loaf | Treatment | Independent variables |      |
|------|-----------|-----------------------|------|
|      |           | %WF                   | %FR  |
| 1    | Factorial | 35.00                 | 0.60 |
| 2    |           | 35.00                 | 2.60 |
| 3    |           | 85.00                 | 0.60 |
| 4    |           | 85.00                 | 2.60 |
| 5    | Axial     | 24.64                 | 1.60 |
| 6    |           | 95.35                 | 1.60 |
| 7    |           | 60.00                 | 0.18 |
| 8    | Central   | 60.00                 | 3.00 |
| 9    |           | 60.00                 | 1.60 |
| 10   |           | 60.00                 | 1.60 |
| 11   |           | 60.00                 | 1.60 |
| 12   |           | 60.00                 | 1.60 |
| 13   |           | 60.00                 | 1.60 |
| 14   |           | 60.00                 | 1.60 |

FR, fat replacer (enzymatically modified corn starch); WF, whole-wheat flour.

probe, which underwent two double compression tests up to 40% penetration of the original height (10 mm distance) at a crosshead speed of 2 mm/s with a 5-s gap between sample compressions (Oro 2013).

For the results of the central treatment points, only the mean of the values from samples 9 to 14 will be discussed.

**Sensory.** Quantitative descriptive analysis of the sensory texture profile of bread crumb started after approval by CEP/Conep (Comitê de Ética em Pesquisa/Comissão Nacional de Ética em Pesquisa).

From the 50 interested members, following the methodology described by Civille and Szczesniak (1973), 21 volunteers were recruited, mostly federal employees of the Campus Florianópolis-Continent belonging to Federal Institute of Education, Science and Technology of Santa Catarina (IFSC), who were regular wheat bread consumer.

The training of 40 h, divided into fortnightly sessions lasting an average of 2 h, was divided into two steps: (1) general aspects, technical and sensory analysis; and (2) specific knowledge of the sensory texture profile directed to evaluate bread crumb. Training was conducted at IFSC Food and Beverages laboratories and the sensory analysis, with adapted sensory booths and scale adjustment notes for the expression of results for the panelists. At the end of training, 12 panelists were selected.

Samples were cut into 25-mm edge cubes (Flander *et al.* 2007), similar to Elia's (2011) study, with a 20-mm cube edge.

Analysis was performed within 2 days. Adopting orthogonal block design (Fisher 1918), which aims to eliminate the effect of this heterogeneity in the experimental units of treatment comparison, from 14 total types of breads, with six repetitions at the central point, only 12 types of bread

**TABLE 2.** INSTRUMENTAL TEXTURE PARAMETERS

| Sample bread loaf | WF (%) | FR (%) | Hardness (N)               | Elasticity (mm)              | Cohesiveness                 | Chewiness (J)              |
|-------------------|--------|--------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1                 | 35.00  | 0.60   | 11.56 <sup>l</sup> ± 0.95  | 0.781 <sup>a</sup> ± 0.061   | 0.598 <sup>a</sup> ± 0.018   | 5.42 <sup>bcd</sup> ± 0.83 |
| 2                 | 35.00  | 2.60   | 11.21 <sup>l</sup> ± 1.50  | 0.757 <sup>ab</sup> ± 0.046  | 0.600 <sup>a</sup> ± 0.023   | 5.12 <sup>cd</sup> ± 1.01  |
| 3                 | 85.00  | 0.60   | 29.56 <sup>a</sup> ± 1.13  | 0.572 <sup>cd</sup> ± 0.042  | 0.487 <sup>cd</sup> ± 0.016  | 8.27 <sup>a</sup> ± 1.08   |
| 4                 | 85.00  | 2.60   | 22.77 <sup>b</sup> ± 2.12  | 0.591 <sup>cd</sup> ± 0.037  | 0.513 <sup>bcd</sup> ± 0.032 | 6.91 <sup>ab</sup> ± 0.81  |
| 5                 | 24.64  | 1.60   | 8.40 <sup>l</sup> ± 1.31   | 0.785 <sup>a</sup> ± 0.039   | 0.606 <sup>a</sup> ± 0.027   | 4.00 <sup>de</sup> ± 0.73  |
| 6                 | 95.35  | 1.60   | 29.86 <sup>a</sup> ± 2.61  | 0.543 <sup>d</sup> ± 0.020   | 0.484 <sup>a</sup> ± 0.016   | 7.87 <sup>a</sup> ± 0.88   |
| 7                 | 60.00  | 0.18   | 19.17 <sup>cd</sup> ± 2.49 | 0.603 <sup>bcd</sup> ± 0.060 | 0.506 <sup>def</sup> ± 0.029 | 5.91 <sup>bc</sup> ± 1.32  |
| 8                 | 60.00  | 3.00   | 16.53 <sup>cd</sup> ± 1.67 | 0.654 <sup>cd</sup> ± 0.029  | 0.537 <sup>bcd</sup> ± 0.019 | 5.83 <sup>bc</sup> ± 0.84  |
| 9                 | 60.00  | 1.60   | 15.58 <sup>a</sup> ± 2.51  | 0.442 <sup>g</sup> ± 0.050   | 0.440 <sup>g</sup> ± 0.030   | 3.02 <sup>e</sup> ± 0.61   |
| 10                | 60.00  | 1.60   | 16.06 <sup>de</sup> ± 2.14 | 0.564 <sup>cd</sup> ± 0.048  | 0.515 <sup>def</sup> ± 0.030 | 4.74 <sup>cd</sup> ± 1.26  |
| 11                | 60.00  | 1.60   | 20.42 <sup>bc</sup> ± 2.69 | 0.625 <sup>cd</sup> ± 0.046  | 0.540 <sup>bcd</sup> ± 0.027 | 6.95 <sup>ab</sup> ± 1.47  |
| 12                | 60.00  | 1.60   | 20.46 <sup>bc</sup> ± 1.36 | 0.687 <sup>bc</sup> ± 0.026  | 0.579 <sup>ab</sup> ± 0.022  | 8.13 <sup>a</sup> ± 0.71   |
| 13                | 60.00  | 1.60   | 16.91 <sup>de</sup> ± 0.99 | 0.629 <sup>cd</sup> ± 0.034  | 0.548 <sup>bc</sup> ± 0.022  | 5.84 <sup>bc</sup> ± 0.62  |
| 14                | 60.00  | 1.60   | 17.21 <sup>de</sup> ± 1.52 | 0.591 <sup>cd</sup> ± 0.032  | 0.533 <sup>cd</sup> ± 0.015  | 5.46 <sup>bcd</sup> ± 0.89 |
| 9–14              | 60.00  | 1.60   | 17.77 <sup>de</sup> ± 0.84 | 0.590 <sup>cd</sup> ± 0.016  | 0.526 <sup>cd</sup> ± 0.009  | 5.89 <sup>bc</sup> ± 0.38  |

Mean ± standard deviation in the same column followed by different letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ ). Sample breads 9–14 represent the average among bread loaves from 9 to 14. FR, fat replacer; WF, whole-wheat flour.

with four repetitions of the central point have been evaluated. Its purpose is to have homogeneous groups of parcels (blocks), each receiving repetition for all treatments.

For the results of the central points, only the average between them (9–12) will be discussed.

On the first day, four samples of the factorial points and two of the central points and, on the second day, four samples of the axial points and two of the central points were made available. On each day, each judge received a list of parameter definitions and six different samples, each in triplicate to evaluate each parameter. For example, three successive sets of samples were cut just before the session and presented in porcelain dish with random 3-digit code (Heenan *et al.* 2008). Parallel to the sensory analysis, water was served to the judges as a way to clean the palate between analyses (Heenan *et al.* 2008).

The evaluated attributes of sensory texture were hardness, elasticity, cohesiveness and chewiness, characterized using the definition according to Civille and Szczesniak (1973) as follows: hardness, the force required to compress a component between molar teeth; elasticity, the degree with which the product returns to its original shape after it is compressed between teeth; cohesiveness, the degree to which a component is fully compressed between teeth before rupturing; chewiness, the time required to chew a sample at a constant speed of force application to reduce it to proper consistency for swallowing.

**Principal Component Analysis.** The main objective of the PCA is to obtain a small number of linear combinations (major components) of a set of variables that retain as much of the information contained in the original variables as possible. Therefore, the use of PCA can be as effective as the use of the original data (Lopes 2001).

## Statistical Analysis

Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and means were compared by Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

The instrumental and sensory textures were correlated, valued at similarities and differences using PCA; furthermore, the correlation matrix was used, and correlation coefficients were calculated.

For statistical analysis, Statistica 7.0 Copyright StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA, 1984–2004, program was used.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Instrumental Texture Analysis

The instrumental texture bread parameters are described in Table 2.

**Hardness.** Bread samples' hardness results are shown in Table 2, ranging from 8.40 to 29.86 N, similar to the study of Collar *et al.* (2014) with bread enriched with cereals, pseudocereals and vegetables and similar to the study of Koletta *et al.* (2014) in which white flour bread has been replaced by rye whole meal flour and/or whole barley flour and/or oat bran.

Samples 3 (85WF + 0.60FR) and 6 (95.35WF + 1.60FR) have significantly equal and higher hardness values (29.56 and 29.86 N, respectively) ( $P \leq 0.05$ ) than other bread samples, even for sample 4 (85WF + 2.60FR), showing that the increase in FR provides a softer bread, the same way as hydrocolloids act as inhibiting starch retrogradation in a similar work (Li and Nie 2015).

For other samples with the same amount of WF, regardless of the amount of FR (1 [35WF + 0.6FR] and 2

[35WF + 2.6FR]; 7 [60WF + 0.18FR], 8 [60WF + 3FR] and 9–14 [60WF + 1.6FR]), there was no significant difference in hardness parameter. This demonstrated that high levels of WF mask the different levels of fat replacement. Different behaviors found in an unleavened Indian bread made of WF, with the addition of 0.75% guar gum of WF, resulted in a softer bread than the one without hydrocolloid (Shalini and Laxmi 2007), probably because it is a flat bread, with little crumb surface.

Sample bread 5 (24.64WF + 1.6FR), with the least amount of WF with a significantly lower hardness value, had hardness significantly lower than and equal to samples 1 (35WF + 0.6FR) and 2 (35WF + 2.6FR) and shown to be the softest bread loaf.

In general, there was steadily hardness increase as WF content increased. As demonstrated in a similar work, wherein bread crumb hardness increased from the substitution of white flour by whole meal flour made with intermediate fractions of wheat grain milling (Blandino *et al.* 2013).

However, significant differences are observed ( $P \leq 0.05$ ) in hardness values between samples 3 (85WF + 0.6FR) and 4 (85WF + 2.6FR), with the same WF content with each other and different levels of fat replacement, showing the work of enzymatically modified starch in the softness of the bread, which is not observed between samples with higher amount of white flour (1 [35WF + 0.6FR] and 2 [35WF + 2.6FR]; 7 [60WF + 0.18FR], 8 [60WF + 3FR] and 9–14 [60WF + 1.6FR], respectively). A similar result was observed with substitution of up to 20% white wheat flour of hydroxypropylated tapioca starch or acetylated tapioca starch and vital gluten, resulting in a softer bread (Miyazaki *et al.* 2005). This behavior can be explained, characterizing the FR as an antirfirming component, such as shortening and monoglyceride, restricting starch swelling during baking. Gluten is the continuous phase, and remnants of starch granule are the discontinuous phase. During baking, antirfirming components interact with wheat flour starch molecules and decrease starch swelling. With less surface area exposed to gluten, fewer and/or weaker cross-links occur with protein; therefore, firming rate is reduced (Martin *et al.* 1991).

**Elasticity.** The results of elastic bread samples (Table 2) ranged from 0.543 to 0.785 mm, with similar values (0.830–0.910 mm) to breads in which inulin was incorporated in different percentages (Rubel *et al.* 2015).

Bread samples 1 (35WF + 0.6FR), 2 (35WF + 2.6FR) and 5 (24.64WF + 1.6FR) resulted in more elastic and less hard bread loaves, having been produced with the lowest of the WF content. These loaves had significantly equal and higher values in elasticity than the other samples ( $P \leq 0.05$ ), regardless of the fat replacement used.

Samples 7 (60WF + 0.18FR), 8 (60WF + 3FR) and 9–14 (60WF + 1.6FR) having the same content of WF and variation of an FR have substantially equal elasticity values, being 0.603, 0.654 and 0.590 mm, respectively.

Sample 6 (95.35WF + 0.6FR) has the largest WF percentage, showing elasticity equal to samples 3 (85WF + 0.60FR), 4 (85WF + 2.60FR), 7 (60WF + 0.18FR) and 9–14 (60WF + 1.60FR), and elasticity lower than sample 8 (60WF + 3FR) ( $P \leq 0.05$ ). This shows that elasticity increases with the reduction of WF content and increased fat content replacement being inversely proportional.

**Cohesiveness.** Cohesiveness results of bread samples are shown in Table 2, ranging from 0.484 to 0.606, similar to the bread results in which 4% hydrolyzed protein (0.560) replaced white flour and control bread (0.780) (Fitzgerald *et al.* 2014). Cohesiveness is described as elastic behavior.

**Chewiness.** Bread samples chewiness results are shown in Table 2, ranging from 4.00 to 8.27 J, with values similar (around 4.35 J) to bread in which inulin was incorporated in different percentages (Rubel *et al.* 2015). Chewiness is described as hardness behavior (Liu *et al.* 2015).

Samples 3 (85WF + 0.60FR), 4 (85WF + 2.60FR) and 6 (95.35WF + 1.60FR) had significantly equal values compared to each other and superior to other samples of breads ( $P \leq 0.05$ ) showing that larger WF content rebound on bread chewiness. These results are in accordance with other studies using wheat flour replacement: bran wheat flour can weaken gluten network and, being composed of albumin and globulin, had poorer quality than gluten (gliadin and glutenin) (Liu *et al.* 2015) and wheat germ flour in bread with diluted gluten protein in dough and formed weaker dough (Sun *et al.* 2015).

The bread samples with the lowest amount of WF (1 [35WF + 0.60FR], 2 [35WF + 2.60FR] and 5 [24.64WF + 1.60FR]) have chewiness values substantially equal to each other and lower than other samples ( $P \leq 0.05$ ). Bread dough is the system with interaction between different components incorporated that may cause different effects, as in similar work (Bárceñas *et al.* 2009), in which three different hydrocolloids were used (arabic gum, pectin and hydroxypropyl methylcellulose), resulting in modification of hydration properties, gluten quality and rheological properties of gluten and starch, depending on the type and concentration used.

### Sensory Texture Analysis

Sensory texture bread parameters are described in Table 3.

**Hardness.** The results of sensory bread samples' hardness are shown in Table 3, with grades ranging from 3.15 to 5.61.

**TABLE 3.** SENSORY TEXTURE PARAMETERS

| Sample bread loaves | WF (%) | FR (%) | Hardness                    | Elasticity                 | Cohesiveness               | Cheviness                    |
|---------------------|--------|--------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1                   | 35.00  | 0.60   | 3.79 <sup>bc</sup> ± 1.40   | 6.21 <sup>ab</sup> ± 0.89  | 6.96 <sup>c</sup> ± 1.18   | 48.67 <sup>abc</sup> ± 13.17 |
| 2                   | 35.00  | 2.60   | 3.15 <sup>c</sup> ± 1.25    | 6.30 <sup>ab</sup> ± 1.07  | 6.88 <sup>ab</sup> ± 0.93  | 45.50 <sup>bc</sup> ± 10.11  |
| 3                   | 85.00  | 0.60   | 5.61 <sup>a</sup> ± 0.85    | 4.25 <sup>c</sup> ± 1.01   | 4.50 <sup>c</sup> ± 0.64   | 64.83 <sup>ab</sup> ± 11.21  |
| 4                   | 85.00  | 2.60   | 5.38 <sup>ab</sup> ± 0.80   | 4.71 <sup>bc</sup> ± 1.08  | 4.79 <sup>c</sup> ± 0.86   | 66.33 <sup>a</sup> ± 20.43   |
| 5                   | 24.64  | 1.60   | 3.88 <sup>bc</sup> ± 1.92   | 6.83 <sup>a</sup> ± 1.34   | 6.68 <sup>ab</sup> ± 1.93  | 42.67 <sup>c</sup> ± 16.95   |
| 6                   | 95.35  | 1.60   | 5.33 <sup>ab</sup> ± 1.13   | 4.65 <sup>bc</sup> ± 1.48  | 4.57 <sup>c</sup> ± 0.71   | 58.33 <sup>abc</sup> ± 12.46 |
| 7                   | 60.00  | 0.18   | 4.73 <sup>abc</sup> ± 1.19  | 5.46 <sup>abc</sup> ± 1.05 | 5.42 <sup>bc</sup> ± 0.84  | 53.08 <sup>abc</sup> ± 12.90 |
| 8                   | 60.00  | 3.00   | 4.50 <sup>abc</sup> ± 1.07  | 5.67 <sup>abc</sup> ± 1.35 | 5.49 <sup>abc</sup> ± 1.34 | 49.67 <sup>abc</sup> ± 14.28 |
| 9                   | 60.00  | 1.60   | 4.36 <sup>abc</sup> ± 1.22  | 5.27 <sup>abc</sup> ± 1.00 | 5.90 <sup>ab</sup> ± 0.58  | 56.50 <sup>abc</sup> ± 18.65 |
| 10                  | 60.00  | 1.60   | 4.37 <sup>abc</sup> ± 1.48  | 5.33 <sup>abc</sup> ± 1.39 | 5.42 <sup>bc</sup> ± 0.70  | 64.25 <sup>ab</sup> ± 22.08  |
| 11                  | 60.00  | 1.60   | 5.01 <sup>ab</sup> ± 1.04   | 4.96 <sup>bc</sup> ± 1.34  | 4.95 <sup>c</sup> ± 1.10   | 60.67 <sup>abc</sup> ± 16.99 |
| 12                  | 60.00  | 1.60   | 4.95 <sup>ab</sup> ± 1.24   | 4.85 <sup>bc</sup> ± 1.88  | 4.31 <sup>c</sup> ± 1.64   | 58.92 <sup>abc</sup> ± 10.36 |
| 9–12                | 60.00  | 1.60   | 4.67 <sup>abcd</sup> ± 0.96 | 5.10 <sup>bc</sup> ± 1.19  | 5.14 <sup>c</sup> ± 0.82   | 60.08 <sup>abc</sup> ± 14.73 |

Mean ± standard deviation in the same column followed by different letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ ). Sample breads 9–12 represent the average among bread loaves from 9 to 12. FR, fat replacer; WF, whole-wheat flour.

Samples 3 (85WF + 0.6FR), 4 (85WF + 2.6FR), 6 (95.35WF + 1.6FR), 7 (60WF + 0.18FR), 8 (60WF + 3FR) and 9–12 (60WF + 1.6FR), all  $\geq 60$ WF presented equal and higher hardness values ( $P \leq 0.05$ ) than other bread samples (1 [35WF + 0.6FR], 2 [35WF + 2.6FR] and 5 [24.64WF + 1.6FR]), thus showing that the variation in the amount of FR was not perceived by judges trained with respect to the hardness parameter.

This result can be ratified observing samples 1 (35WF + 0.6FR) and 2 (35WF + 2.6FR); 3 (85WF + 0.6FR) and 4 (85WF + 2.6FR); 7 (60WF + 0.18FR), 8 (60WF + 3FR) and 9–12 (60WF + 1.6FR) as there was no significant difference ( $P \leq 0.05$ ) in sensory hardness results from samples with the same content of WF and changes in the fat content replacement. Bread samples 9–12 (60WF + 1.6FR) showed hardness value ( $P \leq 0.05$ ) equal to bread samples 9 (60WF + 1.6FR), 10 (60WF + 1.6FR), 11 (60WF + 1.6FR) and 12 (60WF + 1.6FR).

**Elasticity.** The results of sensory elasticity of the bread samples (Table 3) ranged in their grades from 4.25 to 6.83, similar (4.7 to 7.1) to those found in the study of Koletta *et al.* (2014) in which white flour bread has been replaced by rye whole meal flour and/or whole meal barley and/or oat bran.

Sample 3 (85WF + 0.6FR) was significantly lower in elasticity than samples 1 (35WF + 0.6FR), 2 (35WF + 2.6FR) and 5 (24.64WF + 1.6FR) and was equal in elasticity compared with other samples ( $P \leq 0.05$ ), regardless of the amount of the FR.

Observing bread samples 1 (35WF + 0.60FR) and 2 (35WF + 2.60FR); 3 (85WF + 0.60FR) and 4 (85WF + 2.60FR); 7 (60WF + 0.18FR), 8 (60WF + 3.00FR) and 9–12 (60WF + 1.60FR), it appears that there was no significant difference ( $P \leq 0.05$ ) in the results of sensory elasticity between samples with the same WF content and variation in

the content of the FR.

As shown in Table 3, the least hard bread loaves (1: 35WF + 0.6FR; 2: 35WF + 2.6FR; 5: 24.64WF + 1.6FR and 9–12: 60WF + 1.6FR), therefore softer, are shown to be more elastic ( $P \leq 0.05$ ), i.e., with higher elasticity, the same behavior observed in the instrumental analysis.

**Cohesiveness.** The results of sensory cohesiveness of bread samples are shown in Table 3, with grades ranging from 4.50 to 6.96, similar (2.8–8.2) to those found in the study of Callejo *et al.* (2015) where breads were baked with bread wheat and spelt wheat.

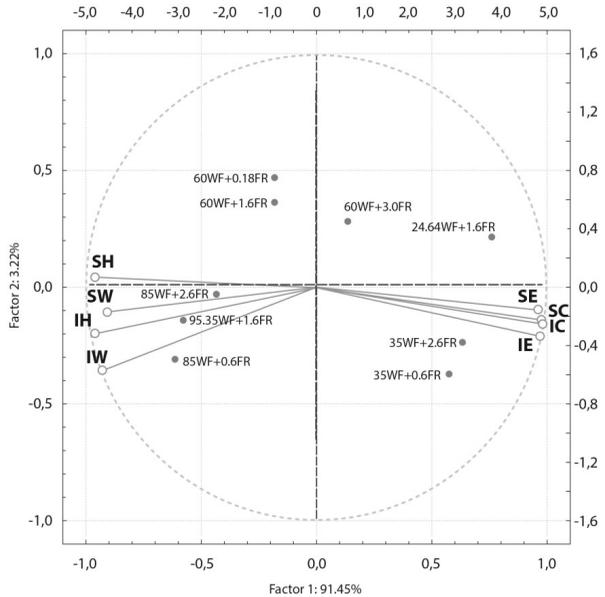
Sensory cohesiveness values were shown to be similar to sensory elasticity behavior and results of instrumental cohesiveness and were inversely proportional to the increase in WF.

**Chewiness.** Sensory chewiness results of the bread samples are shown in Table 3, with grades ranging from 42.67 to 66.33, and similar to sensory hardness, which was also observed between instrumental chewiness and hardness.

### Principal Component Analysis and Correlation between Instrumental and Sensory Texture

To determine the relationship between instrumental (I) and sensory (S) texture assessment, PCA (Kihlberg *et al.* 2006) and correlation matrix (Bordes *et al.* 2008) were used.

Figure 1 shows a PCA with the projection of the parameters studied in the PCA and samples, set in the foreground by two factors (1 and 2), which describe about 91 and 3% of variance, respectively. The explained variance in Fig. 1 amounts to 94%. The first and the second axes describe virtually all of the variations in texture (instrumental and sensory). Elasticity (SE and IE) and cohesivity (SC and IC),



**FIG. 1.** BREAD SAMPLES' PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS  
 Biplot between principal component analysis and the projection of the components of the instrumental and sensory bread texture parameters.  
 FR, fat replacer; IC, instrumental cohesivity; IE, instrumental elasticity; IH, instrumental hardness; IW, instrumental chewiness; SC, sensorial cohesivity; SE, sensorial elasticity; SH, sensorial hardness; SW, sensorial chewiness; WF, whole-wheat flour.

both instrumental and sensorial, were found at the positive end of the first axis. Hardness (SH and IH) and chewiness (SW and IW), both instrumental and sensorial, were found at the negative end of the first axis and were therefore negatively correlated with samples 1 (35WF + 0.6FR), 2 (35WF + 2.6FR) and 5 (24.64WF + 1.6FR), with lower levels in WF. Sensory hardness (SH) was found at the positive end of the second axis. Samples 7 (60WF + 0.18FR), 8 (60WF + 3.0FR) and 9–12 (60WF + 1.6FR) were the ones that most strongly contributed to this parameter. On the other hand, instrumental hardness (IH), sensory chewiness (SW) and instrumental chewiness (IW) were found at the negative end of the second axis, while the samples that contributed most to this parameter are the ones with higher WF content: 3 (85WF + 0.6FR), 4 (85WF + 2.6FR) and 6 (95.35WF + 1.6FR).

Besides, Fig. 1 shows the projection of the principal components of the parameters of instrumental and sensory texture compared with the elaborated bread loaves.

Figure 1 shows that the vectors of parameters that are close to each other represent positive parameters that are strongly correlated.

There is a strong positive correlation between the same instrumental and sensory parameters: hardness, elasticity, cohesivity and chewiness. There were also strongly and

positively correlated different parameters, such as chewiness and hardness, elasticity and cohesiveness, whether instrumental (I) or sensory (S).

The parameters whose vectors form an angle of 180°, or have this behavior, correlate negatively, as it can be seen between elasticity and hardness; elasticity and chewiness; cohesiveness and hardness; cohesiveness and chewiness, whether instrumental or sensory, as both show the same behavior (Fig. 1).

Factors 1 and 2 represent different forms between instrumental and sensory texture, i.e., the contrast between them.

Some parameters were correlated moderately to factor 1: IE (0.97) × IH (−0.97); SE (0.96) × SH (−0.96); IC (0.98) × IW (−0.93); and SC (0.98) × SW (−0.91); therefore, the positive parameters showed values similar to the negative parameters.

The unique positive and moderately correlated parameter to factor 2 was SH (0.04), which showed similar value when compared to the negative parameter SE (−0.09). The other parameters correlated to factor 2 were negative: IH (−0.19), IE (−0.20), IC (−0.15), SC (−0.13), IW (−0.35), SW (−0.10).

Quadrant II of Fig. 1, which includes bread samples 1 (35WF + 0.6FR) and 2 (35WF + 2.6FR), is associated with cohesiveness and elasticity parameters, both instrumental and sensory. Quadrant III with bread samples

**TABLE 4.** CORRELATION MATRIX BETWEEN PARAMETERS OF INSTRUMENTAL AND SENSORY TEXTURE OF THE ELABORATED BREAD LOAVES

|    | IH    | SH    | IE    | SE    | IC    | SC    | IW   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| IH |       |       |       |       |       |       |      |
| SH | 0.91  |       |       |       |       |       |      |
| IE | -0.91 | -0.90 |       |       |       |       |      |
| SE | -0.90 | -0.88 | 0.94  |       |       |       |      |
| IC | -0.94 | -0.93 | 0.98  | 0.96  |       |       |      |
| SC | -0.92 | -0.96 | 0.97  | 0.91  | 0.97  |       |      |
| IW | 0.98  | 0.86  | -0.84 | -0.86 | -0.87 | -0.86 |      |
| SW | 0.84  | 0.88  | -0.85 | -0.86 | -0.83 | -0.88 | 0.84 |

IC, instrumental cohesivity; IE, instrumental elasticity; IH, instrumental hardness; IW, instrumental chewiness; SC, sensorial cohesivity; SE, sensorial elasticity; SH, sensorial hardness; SW, sensorial chewiness ( $P \leq 0.05$ ).

3 (85WF + 0.6FR), 4 (85WF + 2.6FR) and 6 (95.35WF + 1.6FR) is associated with hardness and chewiness, both instrumental and sensory. In addition, quadrant IV, which is composed of bread samples 7 (60WF + 0.18FR) and 9–12 (60WF + 1.6FR), is associated with sensory hardness parameter (Fig. 1).

From the overlay of Fig. 1 (biplot), it can be seen that bread samples 1 (35WF + 0.6FR), 2 (35WF + 2.6FR) and 5 (24.64WF + 1.6FR) show the lowest mean for SH because the perpendicular graphical projection on the vector of the SH variable falls below the origin. Samples 3 (85WF + 0.6FR), 4 (85WF + 2.6FR) and 6 (95.35WF + 1.6FR) present the highest means for SH because the perpendicular graphical projection on the vector of the SH variable lies above the origin. Moreover, samples 7 (60WF + 0.18FR), 8 (60WF + 3.0FR) and 9–12 (60WF + 1.6FR) show the mean value for the SH variable because the perpendicular graphical projection on the vector of these SH variables lies near the origin.

Using PCA, it was observed in this study that there is a strong relationship between instrumental and sensory texture. Further, all correlations presented in the correlation matrix (Table 4) showed that it is possible to describe sensory texture variations through instrumental measurements (as described by Gámbaro *et al.* 2002, who found that sensory texture attributes were well predicted by TPA), and vice versa, confirming what has been described based on the results in Tables 3 and 4.

## CONCLUSIONS

Instrumental and sensory analysis results showed a good correlation on the textural characteristics of whole-wheat loaves with FR, made at a pilot plant level.

It was observed that below 60% of WF, the fat replacement levels had no influence on the final texture of the

loaves, which in general were softer, more elastic and cohesive. On the contrary, bread loaves with more than 60% of WF become instrumentally softer as the levels of FR increased. However, increased high WF contents resulted in firmer and more chewable bread loaves.

The use of PCA and the correlation matrix between instrumental and sensory analysis results were effective, showing that the instrumental hardness parameter of bread crumb can be used to predict the final textural quality of the loaves. As confirmed by Rizzello *et al.* (2011), hardness is often considered as the index of the total textural attributes.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) for the financial support; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) for the availability of instructional time to the volunteers; and sensory analysts for participating.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declared that they have no conflict of interest.

## REFERENCES

- AACC INTERNATIONAL. 2000. *Approved Methods of the AACC*, 10th Ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- ALMEIDA, E.L., CHANG, Y.K. and STEEL, C.J. 2013. Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. *LWT – Food Sci. Technol.* **50**, 545–553.
- BÁRCENAS, M.E., O-KELLER, J.D. and ROSELL, C.M. 2009. Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). *J. Food Eng.* **94**, 241–247.
- BLANDINO, M., SOVRANI, V., MARINACCIO, F., REYNERI, A., ROLLE, L., GIACOSA, S., LOCATELLI, M., BORDIGA, M., TRAVAGLIA, F., COÏSSON, J.D. *et al.* 2013. Nutritional and technological quality of bread enriched with an intermediated pearled wheat fraction. *Food Chem.* **141**, 2549–2557.
- BORDES, J., BRANLARD, G., OURY, F.X., CHARMET, G. and BALFOURIER, F. 2008. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *J. Cereal Sci.* **48**, 569–579.
- BOX, G.E.P. and DRAPER, N.R. 2007. *Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses*, Wiley-Interscience, Madison, Wisconsin.
- BRASIL. 2005. Guia Alimentar para População Brasileira. Série A. Normas e Manuais Técnicos. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Coordenação Geral da Política de Alimentação e Nutrição, Brasília. [http://www.sonutricao.com.br/downloads/Guia\\_Alimentar\\_Populacao\\_Brasileira.pdf](http://www.sonutricao.com.br/downloads/Guia_Alimentar_Populacao_Brasileira.pdf) (accessed August 2014).

- CALLEJO, M.J., VARGAS-KOSTIUK, M. and RODRÍGUEZ-QUIJANO, M. 2015. Selection, training and validation process of a sensory panel for bread analysis: Influence of cultivar on the quality of breads made from common wheat and spelt wheat. *J. Cereal Sci.* 61, 55–62.
- CIVILLE, G.V. and SZCZESNIAK, A.S. 1973. Guidelines to training a texture profile panel. *J. Texture Studies* 4, 204–223.
- COLLAR, C., SANTOS, E. and ROSELL, C.M. 2007. Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *J. Food Eng.* 78, 820–826.
- COLLAR, C., JIMENEZ, T., CONTE, P. and FADDA, C. 2014. Impact of ancient cereals, pseudocereals and legumes on starch hydrolysis and antiradical activity of technologically viable blended breads. *Carbohydr. Polym.* 113, 149–158.
- ELÍA, M. 2011. A procedure for sensory evaluation on bread: Protocol developed by a trained panel. *J. Sensory Studies* 26, 269–277.
- FISHER, R. 1918. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. *Trans. R. Soc. Edin.* 52, 399–433.
- FITZGERALD, C., GALLAGHER, E., DORAN, L., AUTY, M., PRIETO, J. and HAYES, M. 2014. Increasing the health benefits of bread: Assessment of the physical and sensory qualities of bread formulated using a renin inhibitory *Palmaria palmata* protein hydrolysate. *LWT – Food Sci. Technol.* 56, 398–405.
- FLANDER, L., SALMENKALLIO-MARTTILA, M., SUORTTI, T. and AUTIO, K. 2007. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *LWT – Food Sci. Technol.* 40, 860–870.
- GÁMBARO, A., VARELA, P. and GIMÉNEZ, A. 2002. Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. *J. Texture Studies* 32, 401–413.
- GÓMEZ, M., RONDA, F., BLANCO, C.A., CABALLERO, P.A. and APESTEGUÍA, A. 2002. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *Eur. Food Res. Technol.* 216, 51–56.
- GUARDA, A., ROSELL, C.M., BENEDITO, C. and GALOTTO, M.J. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and anti-staling agents. *Food Hydrocolloids* 18, 241–247.
- HEENAN, S.P., DUFOUR, J., HAMID, N., HARVEY, W. and DELAHUNTY, C.M. 2008. The sensory quality of fresh bread: Descriptive attributes and consumer perceptions. *Food Res. Int.* 41, 989–997.
- KIHLBERG, L., OSTROM, A., JOHANSSON, L. and RISVIK, E. 2006. Sensory qualities of plain white pan bread – influence of farming system, year of harvest and baking technique. *J. Cereal Sci.* 43, 15–30.
- KOKINI, J.L. 1985. Fluid and semi-solid food texture and texture-taste interactions. *Food Technol.* 39, 86–94.
- KOLETTA, P., IRAKLI, M., PAPAGEORGIOU, M. and SKENDI, A. 2014. Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours. *J. Cereal Sci.* 60, 561–568.
- KRBI, B., URII-MLADENOVI, N. and CVEJANOV, J. 2005. Principal component analysis of trace elements in Serbian wheat. *J. Agric. Food Chem.* 53, 2171–2175.
- LAASSOUED, N., DELARUE, J., LAUNAY, B. and MICHON, C. 2008. Baked product texture: Correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. *J. Cereal Sci.* 48, 133–143.
- LI, J. and NIE, S. 2015. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids* doi:10.1016/j.foodhyd.2015.01.035.
- LIU, C., LIU, L., LI, L., HAO, C., ZHENG, X., BIAN, K., ZHANG, J. and WANG, X. 2015. Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making. *LWT – Food Sci. Technol.* 62, 310–318.
- LOPES, L.F.D. 2001. Análise de componentes principais aplicada à confiabilidade de sistemas complexos. 121 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- LUCCA, P.A. and TEPPER, B.J. 1994. Fat replacers and the functionality of fats in foods. *Trends Food Sci. Technol.* 5, 12–19.
- MARTIN, M.L., ZELEZNAK, K.J. and HOSENEY, R.C.A. 1991. A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. *Cereal Chem.* 68, 498–503.
- MEHTA, K.L., SCANLON, M.G., SAPIRSTEIN, H.D. and PAGE, J.H. 2009. Ultrasonic investigation of the effect of vegetable shortening and mixing time on the mechanical properties of bread dough. *J. Food Sci.* 74, E455–E461.
- MIYAZAKI, M., MAEDA, T. and MORITA, N. 2005. Starch retrogradation and firming of bread substituted with hydroxypropylated, acetylated and phosphorylated cross-linked tapioca starches for wheat flour. *Cereal Chem.* 82, 639–644.
- MIYAZAKI, M., VAN HUNG, P., MAEDA, T. and MORITA, N. 2006. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. *Trends Food Sci. Technol.* 17, 591–599.
- O'BRIEN, C.M., MUELLER, A., SCANNELL, A.G.M. and ARENDT, E.K. 2003. Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. *J. Food Eng.* 56, 265–267.
- ORO, T. 2013. Adaptação de Métodos para Avaliação da Qualidade Tecnológica de Farinha de Trigo Integral. 2013. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- RIZZELLO, C.G., CASSONE, A., CODA, R. and GOBBETTI, M. 2011. Antifungal activity of sourdough fermented wheat germ used as an ingredient for bread making. *Food Chem.* 127, 952–959.
- ROSELL, C.M. and SANTOS, E. 2010. Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *J. Food Eng.* 98, 273–281.
- RUBEL, I.A., PÉREZ, E.E., MANRIQUE, G.D. and GENOVESE, D.B. 2015. Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem

- artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality. *Food Struct.* 3, 21–29.
- SEYER, M. and GÉLINAS, P. 2009. Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. *Food Sci. Technol.* 44, 688–693.
- SHALINI, K.G. and LAXMI, A. 2007. Influence of additives on rheological characteristics of whole-wheat dough and quality of chapatti (Indian unleavened flat bread). Part I – hydrocolloids. *Food Hydrocolloids* 21, 110–117.
- SKARA, N., NOVOTNI, D., CUKELJ, N., SMERDEL, B. and CURIC, D. 2013. Combined effects of inulin, pectin and guar gum on the quality and stability of partially baked frozen bread. *Food Hydrocolloids* 30, 428–436.
- SUN, R., ZHANG, Z., HU, X., XING, Q. and ZHUO, W. 2015. Effect of wheat germ flour addition on wheat flour, dough and Chinese steamed bread properties. *J. Cereal Sci.* 64, 153–158.
- SZCZESNIAK, A.S. 1963. Classification of textural characteristics. *J. Food Sci.* 28, 385–389.
- SZCZESNIAK, A.S. 1987. Relating sensory textural attributes of corn tortilla to some instrumental measurements. *J. Texture Studies* 18, 1–15.
- SZCZESNIAK, A.S. 2002. Texture is a sensory property. *Food Qual. Prefer.* 13, 215–225.
- VALENZUELA, A. and SANHUEZA, S. 2008. Lípidos estructurados y los sustitutos de grasas: Los lípidos del futuro. *Aceites Grasas. Tomo XVIII* 3, 532–540.

APÊNDICE H - Resumo apresentado em forma de banner no XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Aracajú – Sergipe, 2014

# XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



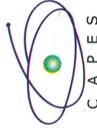
Homenagem pelo Centenário do Dr. André Roberto



Prof. Dr. Leopold Herman Heringham - 110 Anos



Prof. Dr. Leopold Herman Heringham - 110 Anos



## IV CONGRESSO DO INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE FRUTOS TROPICAIS

# CERTIFICADO

## PATRÍCIA MATOS SCHEUER

Apresentou o resumo intitulado: **SENSORY QUALITY OF WHOLE WHEAT BREAD WITH FAT REPLACER**, na forma de PÔSTER, de autoria de Patrícia Matos Scheuer, Bruna Mattioni, Marthá Zavariz de Miranda, Valéria Maria Limberger Bayer e Alicia de Francisco, no **XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (XXIV CBCTA)** e no **IV Congresso do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Frutos Tropicais**, realizados no período de 25 a 29 de setembro de 2014, no Centro de Convenções de Sergipe, em Aracaju.

Prof. Dr. Narendra Narain

Presidente do XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos  
Presidente do IV Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais  
Presidente da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos



## **8 ANEXOS**

ANEXO A – Apoio financeiro recebido a partir da Fundação de Amparo  
à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) - TR  
2012000008

TERMO DE OUTORGA DE AUXÍLIO FINANCEIRO A PROJETO DE PESQUISA

CHAMADA PÚBLICA FAPESC nº 04/2012  
UNIVERSAL

TERMO DE OUTORGA Nº: TR 2012 000008  
PROCESSO Nº: FAPESC3473/2012

**CONCEDENTE:**

|   |                     |
|---|---------------------|
| NOME DA INSTITUIÇÃO: FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E INOVAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA - FAPESC    |                     |
| CNPJ: 01.682.869/0001-26  |                     |
| ENDEREÇO: Rodovia SC 401 - Km 01- ParqTec Alfa - Módulo 12A - 5º andar, João Paulo                    |                     |
| CIDADE: Florianópolis   | CEP: 88030-000      |
| TELEFONE: 48- 3665-4800   | FAX: 48 - 3215-1200 |
| REPRESENTANTE: Sergio Luiz Gargioni   |                     |
| CPF: 145.246.359-04   |                     |
| IDENTIDADE: 103.527   | ORGÃO: SSP/SC       |
| CARGO/ATO DE NOMEAÇÃO: PRESIDENTE - Ato nº 023, publicado no Diário Oficial nº 18.998, de 03/01/2011. |                     |

**BENEFICIÁRIO (A)**

|  |                           |                 |
|--|---------------------------|-----------------|
| NOME: Patrícia Matos Scheuer                                     |                           |                 |
| CPF: 910.390.969-72  |                           |                 |
| CARTEIRA IDENTIDADE: 3081163                                     | ÓRGÃO: SSP/SC             |                 |
| NACIONALIDADE: brasileira  | ESTADO CIVIL: Solteiro(a) |                 |
| PROFISSÃO: Professor de Nível Médio No Ensino Profissionalizante | TELEFONE: (48) 9973-0017  |                 |
| ENDEREÇO: Rua Souza Dutra, 640, Apto 304                         |                           |                 |
| BAIRRO: Estreito   | CIDADE: Florianópolis     | CEP: 88070-605  |
| EMAIL: patriciamatosscheuer@hotmail.com                          |                           |                 |
| CONTA ESPECÍFICA DO PROJETO Nº: 54856-1                          |                           | AGÊNCIA: 1453-2 |

**INSTITUIÇÃO INTERVENIENTE DE VÍNCULO FUNCIONAL/EMPREGATÍCIO**

|  |                          |  |
|--|--------------------------|--|
| NOME DA INSTITUIÇÃO: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina |                          |  |
| ENDEREÇO: Rua 14 de Julho, 150, Enseada dos Marinheiros                                    |                          |  |
| CIDADE: Florianópolis  | CEP: 88075-010           |  |
| TELEFONE:  | FAX:                     |  |
| E-MAIL: reitoria@ifsc.edu.br   | CNPJ: 11.402.887/0001-60 |  |
| NOME DO REPRESENTANTE: Maria Clara Kaschny Schneider                                       |                          |  |
| CPF: 591.649.809-87  |                          |  |
| IDENTIDADE: 3945665-0  | ÓRGÃO: SSP/SC            |  |
| NACIONALIDADE: brasileira  | ESTADO CIVIL: Casado(a)  |  |
| CARGO/ATO DE NOMEAÇÃO: Reitora   |                          |  |
| RESIDÊNCIA: Rua Arno Hoeschl, 254, Apto. 702   | BAIRRO: Centro           |  |
| CIDADE: Florianópolis  | CEP: 88015-620           |  |

Handwritten signatures and initials in blue ink, including "64" and "FMS".

**OBJETO**

A concessão de recursos da FAPESC para o **BENEFICIÁRIO** visando apoio ao projeto "Elaboração de pão com farinha de trigo integral, empregando substituto de gordura na formulação, desenvolvido na mesorregião de Florianópolis", selecionado na Chamada Pública FAPESC 04/2012 - UNIVERSAL e em conformidade com Plano de Trabalho. A assinatura do **TERMO DE OUTORGA** acarreta na aceitação e no compromisso de cumprir com as cláusulas e condições de execução de projetos e prestação de contas constantes no Anexo Único da Chamada UNIVERSAL e na Cartilha da FAPESC.

**RECURSOS**

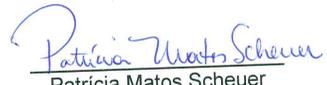
|   |
|---|
| <b>Valor Global:</b> R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais)                |
| <b>FAPESC:</b> R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais)                      |
| <b>PARCELAS</b>   |
| Data prevista: 19 de novembro de 2012                                   |
| <b>CUSTEIO:</b> R\$ 45.600,00 (quarenta e cinco mil e seiscentos reais) |
| Fonte: <b>FAPESC</b>   0100 - Recursos do Tesouro                       |
| Empenho: 1345   |
| Programa Trabalho: Desenvolvimento Científico                           |
| Data prevista: 19 de novembro de 2012                                   |
| <b>CAPITAL:</b> R\$ 4.400,00 (quatro mil e quatrocentos reais)          |
| Fonte: <b>FAPESC</b>   0100 - Recursos do Tesouro                       |
| Empenho: 1346   |
| Programa Trabalho: Desenvolvimento Científico                           |

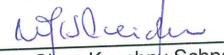
**PRAZO DE VIGÊNCIA**

A vigência deste **TERMO DE OUTORGA** iniciar-se-á na data de sua assinatura, encerrando-se em 31/12/2014.

Florianópolis *06/11/2012*

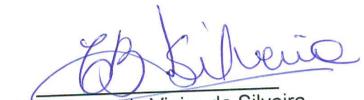
  
\_\_\_\_\_  
**Sergio Luiz Gargioni**  
Presidente da FAPESC

  
\_\_\_\_\_  
**Patrícia Matos Scheuer**  
Beneficiário

  
\_\_\_\_\_  
**Maria Clara Kaschny Schneider**  
Reitora do Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Testemunhas:

  
\_\_\_\_\_  
**Maria Cristina Hatz**  
CPF: 727.926.559-68

  
\_\_\_\_\_  
**Chirley Beatriz Vieira da Silveira**  
CPF: 732.973.489-68

ANEXO B - Parecer de aprovação do comitê de ética em pesquisa com seres humanos da UFSC

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Análise de perfil de textura sensorial em pão elaborado com farinha de trigo integral e substituto de gordura

**Pesquisador:** Patrícia Matos Scheuer

**Área Temática:** Área 4. Equipamentos, insumos e dispositivos para saúde novos, ou não registrados no país.

**Versão:** 4

**CAAE:** 15597213.9.0000.0121

**Instituição Proponente:** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

**Patrocinador Principal:** FUNDACAO DE AMPARO A PESQUISA E INOVACAO DO ESTADO DE SANTA CATARINA

**DADOS DA NOTIFICAÇÃO**

**Tipo de Notificação:** Outros

**Detalhe:** Solicitação de parecer de aprovação do CEP - reenviar

**Justificativa:** Por favor, solicito ao CEP reenviar parecer de aprovação, já que o CONEP sinalizou

**Data do Envio:** 27/08/2013

**Situação da Notificação:** Aguardando revisão do parecer do colegiado

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 388.017

**Data da Relatoria:** 09/09/2013

**Apresentação da Notificação:**

Projeto de pesquisa coordenado pela professora Patrícia Matos Scheuer, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, com a participação de Alicia de Francisco e Krischina Singer Aplevicz.

Serão elaborados pães integrais com diferentes percentuais de farinha de trigo integral e diferentes percentuais de substituto de gordura derivado de amido, nos Laboratórios de Panificação de

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima

**Bairro:** Trindade

**CEP:** 88.040-900

**UF:** SC

**Município:** FLORIANOPOLIS

**Telefone:** (48)3721-9206

**Fax:** (48)3721-9696

**E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br

Continuação do Parecer: 388.017

#### Confeitaria do

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Florianópolis-Continente. O protocolo prevê a avaliação sensorial deste produto, especificamente no que diz respeito ao seu perfil de textura. Para essa avaliação uma equipe de 50 julgadores será treinada e cada julgador irá degustar o produto e avaliar cada amostra de pão elaborado a partir dos atributos de textura: firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade. A composição desta equipe será aleatória, sendo a faixa etária de 18 a 60 anos. Somente provarão a amostra as pessoas que consomem pão (que contenha glúten) com frequência. Esta etapa ocorrerá no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis -Continente, nos laboratórios de alimentos e bebidas. Amostras dos pães elaborados serão submetidas à análise microbiológica de coliformes e Salmonella sp, anteriormente à análise sensorial, em triplicata. O projeto conta com o apoio financeiro da FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA E INOVAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA.

#### Objetivo da Notificação:

Principal: Verificar, sensorialmente, o perfil de textura de pães integrais elaborados com substituto de gordura.

#### Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Segundo os pesquisadores, os riscos previsíveis em análise sensorial são doenças bacterianas, alergias ou intolerância a algum dos componentes do alimento. Uma forma de garantir a segurança do produto consumido será por meio de análises microbiológicas prévias. E, outra forma é sinalizando que, havendo algum desconforto pessoal a qualquer instante do treinamento, o julgador poderá se isentar da pesquisa

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima  
**Bairro:** Trindade **CEP:** 88.040-900  
**UF:** SC **Município:** FLORIANOPOLIS  
**Telefone:** (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br

Continuação do Parecer: 388.017

sem qualquer ônus.

Benefícios: Certificar os participantes como julgador treinado para o perfil de textura sensorial de pães.

**Comentários e Considerações sobre a Notificação:**

O tema tem relevância científica e social e o projeto apresenta-se bem fundamentado.

O pesquisador esclarece que pelo fato de tratar-se de um pão simples, sem recheio, sem maiores cuidados para conservação, a legislação RDC n° 12 (BRASIL, 2001) exige somente análise microbiológica de coliformes e Salmonella sp, que serão realizadas previamente à análise sensorial, em triplicata.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

O TCLE foi apresentado em linguagem clara e acessível, contemplando nesta última versão os riscos aos quais os participantes estarão expostos.

Foi apresentada declaração de aceite da Instituição proponente, assinada pela Reitora do IF-SC Maria Clara Kaschny Schneider e folha de rosto devidamente preenchida.

**Recomendações:**

-

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Pela aprovação.

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima

**Bairro:** Trindade

**CEP:** 88.040-900

**UF:** SC

**Município:** FLORIANOPOLIS

**Telefone:** (48)3721-9206

**Fax:** (48)3721-9696

**E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br

Continuação do Parecer: 388.017

FLORIANOPOLIS, 09 de Setembro de 2013

---

**Assinador por:**  
**Ylmar Correa Neto**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima  
**Bairro:** Trindade **CEP:** 88.040-900  
**UF:** SC **Município:** FLORIANOPOLIS  
**Telefone:** (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br