

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DE ALIMENTOS**

**Joseane Bressiani**

**Qualidade da farinha de trigo de grão inteiro em resposta a influência de  
diferentes tamanhos de partículas**

**Passo Fundo**

**2016**



**Joseane Bressiani**

**Qualidade da farinha de trigo de grão inteiro em resposta a influência de  
diferentes tamanhos de partículas**

Dissertação apresentada para obtenção do  
título de Mestre em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos  
Orientador: Luiz Carlos Gutkoski

**Passo Fundo**

**2016**

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

Qualidade da farinha de grão inteiro de trigo em resposta a influência de diferentes  
tamanhos de partículas

Elaborada por  
**Joseane Bressiani**

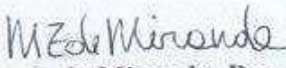
Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos**

**Comissão Examinadora**

  
**Luiz Carlos Gutkoski, Dr., UPF**  
(Orientador/Presidente)

  
**Luciane Maria Colla, Dra., UPF**

  
**Juliano Luiz de Almeida, Dr., FAPA**

  
**Martha Zavariz de Miranda, Dra., Embrapa Trigo**

CIP – Catalogação na Publicação

---

B843q Bressiani, Joseane  
Qualidade da farinha de trigo de grão inteiro em resposta  
a influência de diferentes tamanhos de partículas / Joseane  
Bressiani. – 2016.  
[87] p. : il., color. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos) – Universidade de Passo Fundo, 2016.  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski.

1. Farinha de trigo – Composição. 2. Farinha de trigo –  
Análise. 3. Farinha integral. 4. Panificação. I. Gutkoski, Luiz  
Carlos, orientador. II. Título.

CDU: 664.641

---

Catálogo: Bibliotecária Schirlei T. da Silva Vaz - CRB 10/1364



À minha família.

Dedico.





## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, pela confiança, respeito, oportunidade concedida, por acreditar que eu seria capaz, obrigada Professor Dr. Luiz Carlos Gutkoski pela sua orientação e compreensão em todos os momentos.

À Dr<sup>a</sup>. Tatiana Oro, pela amizade, convivência, estímulo e valiosas orientações em todos os momentos.

As colegas do laboratório de Cereais da Universidade de Passo Fundo, Caroline Vicenzi, Gabriela Santetti, Izadora Strapazon, Josemere Both, Kelly Pelc, Stéfani Werlang e Taís Gottmannshausen, pela convivência e auxílio nas análises.

Aos funcionários do Laboratório de Cereais da Universidade de Passo Fundo, em especial à Tânia Santetti, pela recepção, ajuda e experiência em todos os momentos.

As professoras Dr<sup>a</sup> Luciane Maria Colla e Dr<sup>a</sup> Telma Elita Bertolin pela disponibilidade de seus laboratórios, equipamentos e reagentes para a realização de algumas análises.

À pesquisadora Dr<sup>a</sup> Martha Zavariz de Miranda, da Embrapa Trigo, de Passo Fundo, RS, pelo incentivo e ensinamentos.

À Dr<sup>a</sup> Ana Cláudia Margarites pela convivência agradável, disponibilidade de ajudar, sugestões e auxílio nas análises estatísticas e formatação.

À colega Stéfani Werlang, pela grande ajuda na realização das análises de compostos fenólicos e sulfidrilas livres.

À Universidade de Passo Fundo (UPF), em especial ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGTA), Professores, Alunos e Funcionários, pela amizade, apoio e suporte fornecidos para a realização deste trabalho.

À Cooperativa Agrária Agroindustrial, em especial ao pesquisador Dr. Juliano Luiz de Almeida, pela presteza em ceder o trigo e o moinho para realização deste trabalho.

À fundação de amparo à pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) agradeço pela bolsa de estudos.

Aos meus pais por todo carinho, incentivo e apoio que sempre me concederam;



Aos meus sogros, por todo apoio fornecido, suprimo minhas ausências junto a minha filha e permitindo que me dedicasse exclusivamente ao mestrado.

Ao meu marido, Cristiano, por ser tão importante na minha vida. Sempre ao meu lado, me fazendo acreditar que posso mais que imagino.

À minha filha, Laura, que embora pequena sempre compreendeu as minhas dificuldades e ausências. Obrigada por esperar a mamãe durante horas perto do computador, fazendo seus desenhos nos artigos científicos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma com este trabalho.

Meus mais sinceros agradecimentos.



## RESUMO

A popularidade da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) vem crescendo com a investigação contínua dos benefícios dos grãos integrais à saúde, sua composição rica em vitaminas, minerais, antioxidantes e outros nutrientes a caracteriza como excelente fonte de ingredientes nutricionais e funcionais. Apesar dos benefícios a saúde, efeitos adversos no comportamento reológico da massa e produtos de panificação à base de FTGI são observados devido à presença dos componentes das partes externas do grão e do gérmen. O processo de moagem para sua produção ainda é um desafio para indústria, várias técnicas tem sido utilizadas resultando em farinhas integrais com diferentes tamanhos de partículas e funcionalidades. Neste estudo, o objetivo foi elaborar amostras de FTGI de diferentes tamanhos de partículas (grossa, média e fina) e avaliar a qualidade tecnológica. Para este fim, as diferenças na composição química, comportamento reológico, de pasta e de microestrutura foram investigadas e relacionadas com as propriedades de massa e de panificação. O experimento foi delineado de forma inteiramente casualizado com uso de quatro tratamentos e as análises realizadas em triplicata, exceto a microestrutura. A significância dos dados foi testada pela análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança. Os resultados mostraram que o tamanho de partícula da FTGI proporcionou vários efeitos adversos sobre a qualidade de panificação. Os efeitos observados como pães de forma mais firmes e volumes inferiores em comparação com a farinha de trigo refinada (FTR) foram correlacionados com a qualidade da rede de glúten. As partículas grossas apresentaram maior tempo de desenvolvimento de massa e menor resistência a extensão, indicando a formação de rede de glúten menos coesa. Na amostra de partículas finas, os efeitos adversos mais pronunciados na qualidade tecnológica em comparação à amostra de tamanho médio de partícula, sugerem que a maior superfície de contato e a maior liberação de compostos reativos com característica redutora devido à ruptura celular, interagem com as proteínas formadoras do glúten alterando sua funcionalidade. As análises de microestrutura ilustram que amostras de FTGI apresentaram menor cobertura dos grânulos de amido e menor grau de conectividade da rede de proteínas em relação à farinha de trigo refinada (FTR). A quantificação de grupos sulfidrilas livres das amostras de FTGI, somado aos efeitos observados na massa e no pão de forma, indicam que o tamanho de partícula influencia de forma diferenciada a funcionalidade da rede de glúten. Este trabalho demonstra a importante relação entre o tamanho de partícula da FTGI e as propriedades de massa e de panificação. As estratégias de redução de tamanho de partícula da farinha utilizadas para minimizar os efeitos adversos das camadas externas do grão devem ser melhor investigadas para otimizar a elaboração de produtos de panificação. No entanto, do ponto de vista nutricional, partículas menores podem ajudar na liberação dos compostos com ação bioativa, que agem como antioxidantes.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, farinha integral, granulometria, glúten.



## ABSTRACT

The popularity of whole grain wheat flour (WGWF) is growing with the continuous research of the benefits of whole grains to health, its composition rich in vitamins, minerals, antioxidants and nutrients that characterizes as a functional food. Despite the health benefits, adverse effects on the rheological behavior of the mass and bakery products based on the WGWF are observed due to the presence of components of the germ and outer parts of the grain. The grinding process for its production is still a challenge for the industry, several techniques have been used resulting in wholemeals with different particle sizes and features. In this study, the goal was to prepare samples of WGWF with different particle sizes (thick, medium and fine) and evaluate the technological quality. For this purpose, differences in chemical composition, rheology, paste and microstructure were investigated and related to the mass properties and baking. The experiment was designed as entirely casualized with four treatments and analysis in triplicate, except the microstructure. The significance of the data was tested by analysis of variance and the compared media by Tukey test at 95% confidence interval. The results showed interference on the quality of bread caused by the particle size of WGWF. The effects observed as breads firmer and less volume compared to refined wheat flour (RWF) were related to the quality of the gluten network. The thick particles had longer development in the mass and less resistance to extension, indicating the formation of less cohesive gluten network. In the sample of fine particles, the most pronounced effects technological quality compared to the sample medium particle, suggested that the biggest surface contact and the biggest release of reactive compounds with reducing characteristics due to cell rupture, interact with proteins forming gluten changing its functionality. The microstructure analysis shows that samples WGWF have submitted lower cohesion of the protein's network from the RWF. Quantification of free sulfhydryl groups of WGWF samples, added to the effects observed in mass and form bread indicates that particle size influences differently gluten network functionality. This study demonstrated the important relation between the particle size of WGWF and the mass properties and bakery. The particle size reduction strategies flour used to minimize the effects caused by the outer layers of the grain should be further investigated to optimize the preparation of bakery products. From the point nutritional view, smaller particles can assist in the release of bioactive compounds with actions, which act as antioxidants.

Key-words: *Triticum aestivum*, whole flour, gluten, granulometry





## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mecanismo representativo da ação protetora dos grãos integrais ao organismo contra as principais doenças crônicas.....	28
Figura 2 – Componentes do grão de trigo. ....	30
Figura 3 – Representação molecular do desenvolvimento do glúten. ....	36
Figura 4- Fluxograma das atividades experimentais .....	37
Figura 5- Representação do processo de moagem e produção das farinhas de trigo de grão inteiro com diferentes tamanhos de partícula.....	38
Figura 6- Fluxograma do processo de panificação em pequena escala.....	46
Figura 7- Método utilizado para a determinação do teor de grupos sulfidril livres em amostras de glúten de trigo.....	48
Figura 8 - Perfil de distribuição de tamanho de partícula da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	52
Figura 9- Teor de amido danificado da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	56
Figura 10 -Resistência à extensão e extensibilidade das massas das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro. ....	59
Figura 11-Propriedades de pasta da amostra de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	62
Figura 12 – Microestrutura das amostras de massa da farinha refinada e farinhas de trigo de grão inteiro analisadas por microscopia eletrônica de varredura. ....	64
Figura 13- Avaliação do volume específico dos pães elaborados com as amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro. ....	67
Figura 14 - Cor da crosta e do miolo de pães elaborados com amostra de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	70
Figura 15 - Conteúdo de S-H livre das amostras de glúten da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	75



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Proporções dos ingredientes utilizados na formulação dos pães.....	45
Tabela 2- Composição química aproximada da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	53
Tabela 3- Teor de glúten das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	54
Tabela 4- Avaliação da cor da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro. ...	55
Tabela 5- Propriedades de mistura da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	57
Tabela 6- Propriedades de pasta das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	60
Tabela 7- Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro. ....	65
Tabela 8- Conteúdo de -SH livre das amostras de glúten da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.....	73



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 GRÃOS INTEGRAIS.....	27
2.2 TRIGO.....	29
2.2.1 Produção.....	29
2.2.2 Estrutura do grão de trigo.....	30
2.3 FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO.....	31
2.3.1 Moagem.....	32
2.3.2 Tamanho de partícula.....	33
2.4 glúten.....	34
2.4.1 Formação da rede de glúten durante a panificação.....	35
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL.....	38
3.1.1 Grãos de trigo.....	38
3.1.2 Preparo da farinha de trigo refinada e farinha de trigo de grão inteiro.....	38
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	39
3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	39
3.3.1 Teor de umidade.....	39
3.3.2 Teor de proteínas.....	39
3.3.3 Teor de cinzas.....	40
3.3.4 Fibra alimentar.....	40
3.3.5 Teor de lipídios.....	40
3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	40
3.4.1 Teor de glúten.....	40
3.4.2 Cor.....	40

3.4.3 Teor de amido danificado .....	41
3.5 DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS .....	41
3.5.1 Preparação dos extratos.....	41
3.5.2 Determinação de compostos fenólicos totais .....	41
3.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELO MÉTODO DPPH .....	42
3.7 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELO MÉTODO ABTS .....	42
3.8 PROPRIEDADES DE MASSA.....	43
3.8.1 Propriedades de mistura .....	43
3.8.2 Resistência à extensão e extensibilidade.....	43
3.8.3 Propriedades de pasta.....	43
3.9 PROPRIEDADES DE MICROESTRUTURA.....	44
3.10 PROPRIEDADES DE PANIFICAÇÃO.....	44
3.10.1 Teste instrumental de panificação em pequena escala.....	44
3.10.2 Avaliação das características de qualidade dos pães .....	46
3.10.2.1 Volume específico.....	46
3.10.2.2 Cor.....	47
3.10.2.3 Firmeza dos pães .....	47
3.11 DETERMINAÇÃO DOS GRUPOS SULFIDRILAS LIVRES .....	47
3.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.1 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO MÉDIO DE PARTÍCULA .....	51
4.2 Composição química.....	53
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	54
4.3.1 Teor de glúten .....	54
4.3.2 Avaliação da cor.....	55
4.3.3 Amido danificado.....	56
4.4 PROPRIEDADES DE MASSA.....	57

4.4.1 Propriedades de mistura.....	57
4.4.2 Resistência à extensão e extensibilidade .....	58
4.4.3 Propriedades de pasta .....	60
4.5 PROPRIEDADES DE MICROESTRUTURA DA MASSA.....	62
4.6 DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE .....	65
4.7 Propriedades de panificação .....	66
4.8 Grupos Sulfidrilas livres (S-H).....	72
5 CONCLUSÕES .....	77
REFERÊNCIAS .....	79
APÊNDICE A – Curvas farinográficas .....	87





## 1 INTRODUÇÃO

A farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) contém substancialmente mais vitaminas, minerais, antioxidantes e outros nutrientes que a farinha de trigo refinada (FR), uma vez que esses compostos estão concentrados nas camadas externas do grão (WEAVER, 2001). Por essa razão a FTGI é considerada como excelente fonte de nutrientes e compostos bioativos para saúde humana. Apesar dos benefícios à saúde, a presença dos componentes das partes externas do grão e do gérmen proporcionam efeitos adversos nas propriedades da massa de produtos de panificação à base de FTGI. O conjunto de alterações no pão, tanto no comportamento reológico, quanto nas etapas de fermentação e cozimento são evidenciados pela redução de volume, modificações da textura, variações na aparência e alteração no sabor (POMERANZ et al., 1977).

Ao estudar os efeitos da FTGI nas propriedades de massa e panificação é necessário considerar que o processo de moagem para sua produção é de grande importância na qualidade tecnológica. Ao contrário da FTR, na qual o processo de moagem está bem estabelecido, a produção da FTGI ocorre por uma variedade de técnicas de moagem, como moinho de pedras, moinho de rolos, moinho de martelos e moagem ultra-fina, resultando em farinhas com diferentes tamanhos de partículas e funcionalidades (KIHLBERG et al., 2004).

Apesar de vários estudos investigarem o efeito do tamanho de partícula do farelo nas propriedades tecnológicas da farinha e panificação, uma visão clara sobre este efeito é inexistente. Inicialmente, a redução do tamanho das partículas de farelo foi apontada como forma de reduzir os efeitos negativos na massa (LAI et al., 1989). Dados mais recentes (ZHANG, MOORE, 1999 e NOORT et al., 2010), apontam que a influência negativa do farelo na qualidade dos produtos de panificação é reforçada quando o tamanho de partícula é reduzido. NOORT et al., (2010) demonstraram que além dos efeitos negativos provocados por influências físicas de partículas grandes, existe a influência de compostos químicos do farelo, os quais podem interagir mais facilmente com o glúten e inibir o seu desenvolvimento, quando as partículas são demasiadamente pequenas. A maioria dos estudos para determinar a influência do tamanho de partícula nas propriedades tecnológicas da massa e de panificação foram realizados considerando o tamanho de partícula do farelo. Poucos estudos abordam a influência do tamanho de partícula da farinha elaborada pela moagem inteira do grão de trigo.

O conhecimento dos mecanismos responsáveis pelas interferências e a forma como interagem com a rede de glúten em função do tamanho de partícula pode abrir novos

caminhos para tecnologias de moagem e produção de FTGI com melhor desempenho tecnológico e com os reais benefícios a saúde.

Desta forma, o presente estudo visou avançar o conhecimento dos fenômenos subjacentes aos efeitos adversos da FTGI na panificação, através da avaliação das propriedades de massa de farinha com diferentes tamanhos de partícula (grossa, média e fina). Para este fim, as diferenças na composição química, comportamento reológico, de pasta e a microestrutura foram investigadas e relacionadas com as propriedades de panificação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GRÃOS INTEGRAIS

A popularidade do conceito de alimentos funcionais tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, oferecendo à indústria de alimentos possibilidades e desafios de melhorar a qualidade nutricional dos alimentos existentes e desenvolver novos alimentos que possam promover à saúde.

Os grãos e seus produtos processados são consumidos mundialmente como importantes fontes de energia. Alimentos à base de cereais fornecem a maior parte dos carboidratos, proteínas, fibras e outros micronutrientes, em muitas dietas. Vários estudos epidemiológicos sugerem a existência de uma relação entre uma alta ingestão de produtos de cereais integrais e o reduzido risco de desenvolvimento de certos tipos de câncer, doenças cardiovasculares, diabetes tipo II e obesidade (JENSEN et al., 2006; SLAVIN, 2003, SLAVIN; JACOBS; MARQUART, 1997).

A *American Association of Cereal Chemists* (AACC) define grão integral como aquele em que os componentes anatômicos estão presentes nas mesmas proporções que na cariopse intacta, na medida do possível pela melhor tecnologia de moagem moderna (AACC, 2008). A definição pelo *Whole Grains Council* inclui alimentos processados e especifica que grãos integrais ou alimentos feitos de grãos integrais devem conter todas as partes essenciais e nutrientes de ocorrência natural do grão inteiro. Se o grão foi processado (quebrado, esmagado, laminado, extrusado, e/ou cozido), o produto alimentar deve manter aproximadamente o mesmo balanço de nutrientes do grão original (WHOLE GRAINS COUNCIL, 2004). O projeto HEALTHGRAIN em 2010 publicou uma definição que nos grãos integrais os principais componentes anatômicos - o endosperma amiláceo, o farelo e o gérmen devem estar presentes nas mesmas proporções relativas como elas existem no núcleo intacto (KAMP, 2012).

As três definições existentes de grãos integrais são fieis ao estabelecer que para um produto ser caracterizado como integral é necessário que os componentes anatômicos (endosperma, farelo e gérmen) sejam mantidos após o processo de moagem. No Brasil, devido à falta de legislação específica para presença de grãos integrais nos alimentos, independentemente do teor de grão integral utilizado, o produto pode ser comercializado e

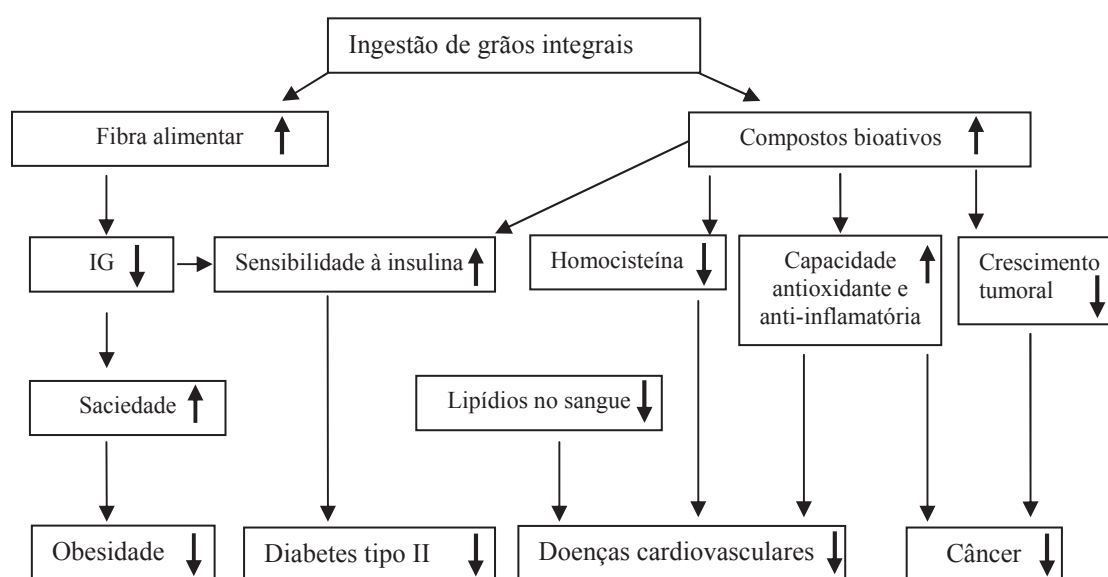
rotulado como tal, porém sem a mesma funcionalidade que é atribuída ao produto (ORO 2013).

Os benefícios ao organismo humano devido à ingestão de grãos integrais inicialmente foi atribuído ao seu alto teor de fibras, pesquisas mais recentes indicam que o efeito benéfico dos grãos integrais está relacionado à ação conjugada de vários componentes, tais como fibras e compostos fitoquímicos com ação bioativa (LUTHRIA; LU; JOHN MARIA, 2015).

A ação benéfica ao organismo dos compostos fitoquímicos ocorre quando eles são ligados na parede celular, não são digeridos pelas enzimas humanas, sobrevivem no estômago e à digestão do intestino delgado, e, por conseguinte, podem eventualmente atingir o cólon. A microflora do cólon pode liberar os fitoquímicos ligados através da fermentação, e, assim, proporcionar benefícios para a saúde (OKARTER et al., 2010). Atividade antioxidante também é atribuída aos grãos integrais que possuem a capacidade de eliminar radicais livres que podem oxidar moléculas biologicamente relevantes (LIU, 2007).

O mecanismo de prevenção no organismo contra as principais doenças crônicas relacionado ao consumo de grãos integrais foi representado por Fardet (2010) e ilustrado na Figura 1. O autor considerou a funcionalidade das fibras e compostos fitoquímicos com ação bioativa presentes nos grãos integrais e sua proteção contra as doenças de obesidade, diabetes tipo II, doenças cardiovasculares e câncer.

Figura 1- Mecanismo representativo da ação protetora dos grãos integrais ao organismo contra as principais doenças crônicas.



IG: índice glicêmico.

Fonte: Adaptado de Fardet (2010).

A relação das fibras com a prevenção da obesidade é explicada dentro do mecanismo pelo aumento da sensação de saciedade, provocado pela redução do índice glicêmico. Fibras promovem ainda a elevação da sensibilidade à insulina e redução de lipídios no sangue, fatores que previnem a diabetes tipo II e doenças cardiovasculares. Os compostos bioativos além de elevar a sensibilidade à insulina para prevenir a diabetes tipo II, são apresentados como provedores da diminuição dos níveis de homocisteína e lipídios no sangue, aumento do estado antioxidante e anti-inflamatório, diminuindo assim o crescimento de tumores e prevenindo doenças cardiovasculares e câncer (FARDET, 2010).

Apesar dos benefícios à saúde de produtos de cereais integrais, o seu consumo ainda é muito menor do que o consumo de produtos refinados. As barreiras ao aumento do consumo de produtos integrais incluem preferências de gosto dos consumidores, incapacidade de identificar alimentos de grãos integrais, dificuldade na substituição de grãos integrais para os ingredientes existentes nos padrões da alimentação, preço e disponibilidade (KUZNESOF et al., 2012). Investigação para o desenvolvimento de tecnologias de processamento de grãos inteiros, a fim de criar produtos mais atraentes é portanto necessário. O sabor, cor e textura dos alimentos feitos com ingredientes de grãos inteiros devem ser otimizados para aumentar a aceitação do consumidor por alimentos de grãos integrais.

## **2.2 TRIGO**

### **2.2.1 Produção**

O trigo (*Triticum aestivum*) é conhecido como uma das três grandes culturas de cereais e sua produção mundial ultrapassa 700 milhões de toneladas ao ano. A previsão do *International Grain Council* (IGC) para o ano-safra 2016/2015 é de 731 milhões de toneladas de trigo, 6 milhões de toneladas a mais do que no ano-safra 2014/2015 (IGC, 2016).

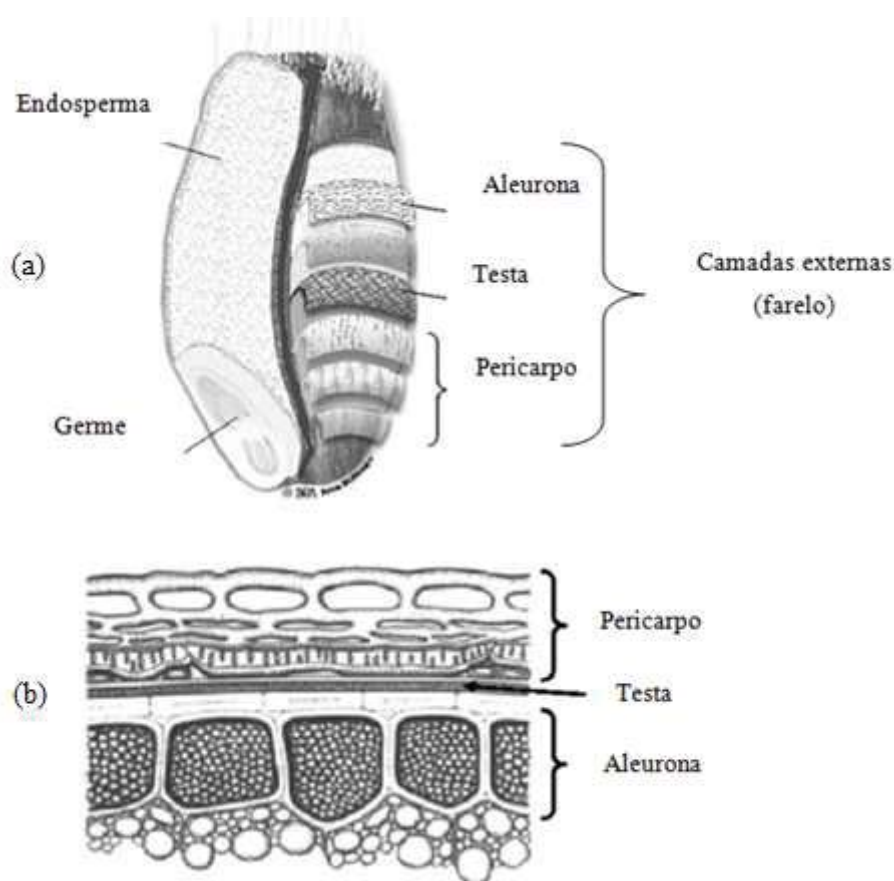
No Brasil, a produção anual de trigo oscila entre 5 e 6 milhões de toneladas. Ele é cultivado em cerca de 90% na região Sul, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná e vem sendo introduzido, em menor número, nas regiões Sudeste e Centro-oeste, nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e também no Distrito Federal. O consumo anual de trigo no país tem se mantido em torno de 10 milhões de toneladas ao ano, sendo que no ano-safra 2016/2015 estima-se que seja importado acima de 5,75 milhões de toneladas, acréscimo que deve ocorrer em vista da não disponibilidade de trigo de qualidade adequada para panificação, resultado causado pelo clima na cultura de trigo

nas zonas de produção da região sul do Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul (CONAB, 2016).

### 2.2.2 Estrutura do grão de trigo

Embora o trigo seja usado principalmente como fonte de energia, é rico em fibras e compostos fitoquímicos com ação bioativa. Possui uma estrutura complexa composta por diferentes tecidos (Figura 2a).

Figura 2 – Componentes do grão de trigo.



(a) Estrutura do grão de trigo. (b) Estrutura das camadas externas

Fonte: Adaptado de Hemery (2009).

O endosperma amiláceo corresponde a cerca de 80-85% do grão de trigo. É formado por células de parede delgada (periféricas, prismáticas e centrais) que variam de tamanho, forma e composição em suas diferentes partes. O conteúdo e as paredes celulares das células

do endosperma constituem a farinha e apresentam principalmente amido e proteínas na composição (HOSENEY, 1991).

O gérmen está constituído por duas partes principais: eixo embrionário (raiz e talo rudimentares) e escutelo, que tem papel de armazenamento. O gérmen é rico em proteínas, açúcares, gorduras, vitaminas e minerais e é responsável pelo desenvolvimento de uma nova planta. Representa cerca de 3% do grão (HOSENEY, 1991).

As camadas externas são caracterizadas por estruturas e composições distintas, variam entre 13-17% da constituição do grão (Figura 2b) (GEBRUERS et al., 2008). Os tecidos periféricos do grão que recobrem o endosperma amiláceo da camada exterior para a interior, são constituídos por pericarpo, testa e camada de aleurona (HEMERY et al., 2010).

Nas camadas externas do grão do trigo está concentrada a maioria dos compostos reconhecidos como benéficos à saúde, como as fibras, vitaminas, minerais e compostos fitoquímicos (FARDET, 2010). Os ácidos fenólicos representam a forma mais comum de compostos fenólicos em trigo e um dos maiores e mais complexos grupos de fitoquímicos nos cereais. Estes ácidos estão presentes principalmente na forma ligada aos componentes estruturais da parede celular, tais como celulose, lignina e proteínas (SAULNIER et al., 2007). Os compostos fenólicos ligados são considerados como tendo uma maior capacidade antioxidante, porque podem escapar da digestão gastrointestinal superior, juntamente com materiais de parede celular, e são absorvidos no plasma sanguíneo durante a digestão pela microflora intestinal (WANG et al., 2013). O principal ácido fenólico é o ácido ferúlico, o qual se encontra presente, principalmente, na parede celular nos tecidos do pericarpo e aleurona (LIU, 2007). A camada de aleurona tem sido apontada entre as camadas externas do grão de trigo, como a de maior interesse nutricional, pois concentra a maioria das fibras e compostos bioativos (SIBAKOV; POUTANEN; MICARD, 2014).

### **2.3 FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO**

Com a investigação contínua a revelar os benefícios de grãos integrais aos consumidores, a FTGI vem ganhando cada vez mais espaço na indústria de alimentos. Sua composição contém substancialmente mais vitaminas, minerais, antioxidantes e outros nutrientes que a FTR, uma vez que esses compostos estão concentrados nas camadas externas do grão em maior quantidade (WEAVER, 2001).

A *American Association of Cereal Chemists* (AACC) definiu farinha de trigo integral como sendo preparada a partir de trigo de tal modo que as proporções do grão (farelo de trigo, gérmen e endosperma) permaneçam inalteradas.

Segundo a Legislação Brasileira, define-se como farinha de trigo integral o produto elaborado com grãos de trigo (*Triticum aestivum L.*) ou outras espécies de trigo do gênero *Triticum*, ou combinações por meio de trituração ou moagem e outras tecnologias ou processos a partir do processamento completo do grão limpo, contendo ou não o gérmen. A farinha de trigo integral deve conter um teor máximo de cinzas de 2,5%, teor mínimo de proteínas de 8,0% e acidez graxa máxima de 100 mg KOH/100 g do produto (BRASIL, 2005).

A FTGI é considerada como excelente fonte de nutrientes e compostos bioativos para saúde humana, porém, apesar dos benefícios, a presença das partes externas do grão e do gérmen proporciona alterações nas propriedades da massa de produtos à base de farinha de grão inteiro. Os principais efeitos incluem uma diminuição no volume de pão, alterações texturais (aumento da dureza do miolo e perda de crocância), mudanças na aparência (cor, propriedades de superfície) e sabor (POMERANZ et al., 1977).

### **2.3.1 Moagem**

A seleção do processo de moagem utilizada para produção da FTGI é de grande importância na qualidade tecnológica (KIHLEBERG et al., 2004). Ao contrário da FTR, na qual o processo de moagem está bem estabelecido, a produção da FTGI ocorre por uma variedade de técnicas, resultando em farinhas com diferentes tamanhos de partículas e funcionalidades (DOBLADO-MALDONADO et al., 2012).

As quatro técnicas predominantes são moinho de pedra, moinho de rolo, moinho de ultrafina e moinho de martelos. O moinho de martelos faz com que o produto seja aquecido durante a moagem e perca umidade (POSNER; HIBBS, 2005). Moinhos de pedra geram calor considerável devido ao atrito, que resulta em danos ao amido, proteínas e ácidos graxos insaturados (PRABHASANKAR; RAO, 2001). O processo de moagem de rolos envolve a separação do endosperma do farelo e gérmen, seguido por redução gradual de tamanho endosperma (ZIEGLER e GREER, 1971). A produção de farinha que responde à exigência de ser de grãos inteiros no processo de moagem de rolos é conseguida através da mistura de farelo e gérmen de volta com a farinha do endosperma nas proporções que ocorrem naturalmente.



Em comparação com os moinhos de pedra, moagem de rolo é mais econômico e flexível, produz menos calor e, portanto, menor destruição de componentes químicos (PRABHASANKAR ; RAO, 2001). Uma terceira vantagem da produção de farinhas de grãos inteiros em moinhos de rolos é que o farelo de trigo e gérmen pode ser separados da fração do endosperma e sujeitos a processamento subsequente, tal como aquecimento, vaporização ou moagem ultrafina para melhorar o armazenamento ou as propriedades funcionais da farinha (POSNER; HIBBS, 2005; DE ALMEIRDA et. al., 2014).

### **2.3.2 Tamanho de partícula**

O tamanho de partícula é um parâmetro importante para a utilização da FTGI, afeta tanto os efeitos fisiológicos como a funcionalidade tecnológica (KIHLEBERG et al., 2004). O tamanho das partículas determina a área de superfície e, portanto, pode afetar reações que são dependentes da área de superfície disponível.

A redução de tamanho de partícula aumenta a área total de superfície e o número das partículas. Estudos relataram que a diminuição do tamanho de partícula de substratos à base de plantas pode melhorar a sua hidrólise enzimática (DASARI; BERSON, 2007; NIEMI et al. 2012; SILVA et al. 2012). A redução do tamanho das partículas, também pode afetar a libertação de componentes a partir das mesmas, bem como um aumento no nível de fibra alimentar solúvel é frequentemente observado após a moagem intensiva (HEMERY et al., 2011). O tamanho das partículas influencia também nas propriedades de hidratação do farelo e nas propriedades das massas (SANZ PENELLA et al., 2008; NOORT et al., 2010).

Em produtos de panificação, grandes partículas de farelo podem causar efeitos adversos sobre a qualidade, como redução de volume, modificações da textura, variações na aparência e alteração no sabor (POMERANZ et al., 1977). Embora a redução do tamanho das partículas tenha sido apontada como ferramenta para minimizar estes efeitos, o impacto do tamanho de partículas do farelo ainda é uma questão controversa. Enquanto que alguns estudos indicam que a redução do tamanho das partículas de farelo melhora o desempenho do cozimento, tais como propriedades de massa e de panificação (LAI et al., 1989; MODER et al., 1984), outros relatam o oposto (ZHANG; MOORE, 1999; NOORT et al., 2010). Coda et al., (2014) comparando o desempenho das propriedades de panificação de farelos com tamanhos de partícula de 750, 400, 160 e 50  $\mu\text{m}$ , relataram que a o tamanho de partícula que apresentou os menores efeitos adversos foi de 160  $\mu\text{m}$ . O impacto negativo da redução do

tamanho de partícula foi atribuída ao aumento da superfície de interação e libertação dos componentes reativos devido à ruptura da célula (NOORT et al., 2010).

A maioria dos estudos para determinar a influência do tamanho de partícula nas propriedades tecnológicas da massa e de panificação tem sido considerando o tamanho de partícula do farelo. Poucos estudos abordam a influência do tamanho de partícula da farinha elaborada pela moagem inteira do grão de trigo. O conhecimento dos mecanismos responsáveis pelas interferências e a forma como interagem com a rede de glúten em função do tamanho de partícula podem abrir novos caminhos para tecnologias de moagem e produção de FTGI com melhor desempenho tecnológico e com os reais benefícios a saúde.

## 2.4 GLÚTEN

O glúten compreende as principais proteínas de armazenamento do trigo que representam 80 a 85% das proteínas totais do grão. Desempenha um papel fundamental na determinação das propriedades reológicas de massa e qualidade de panificação, entre as principais, a habilidade para formar uma massa resistente, com boas características para panificação (HOSENEY, 1994).

O trigo é constituído pelas proteínas formadoras de glúten gliadinas e gluteninas. Ambas são importantes contribuintes para as propriedades reológicas da massa com funções diferenciadas. Gliadinas possuem pouca elasticidade e são menos coesas do que gluteninas, elas contribuem principalmente para a viscosidade e capacidade de extensão de massa. Em contraste, gluteninas são coesas e elásticas e são responsáveis pela resistência e elasticidade. Uma mistura adequada das duas frações é essencial para conferir as propriedades viscoelásticas da massa e a qualidade dos produtos finais.

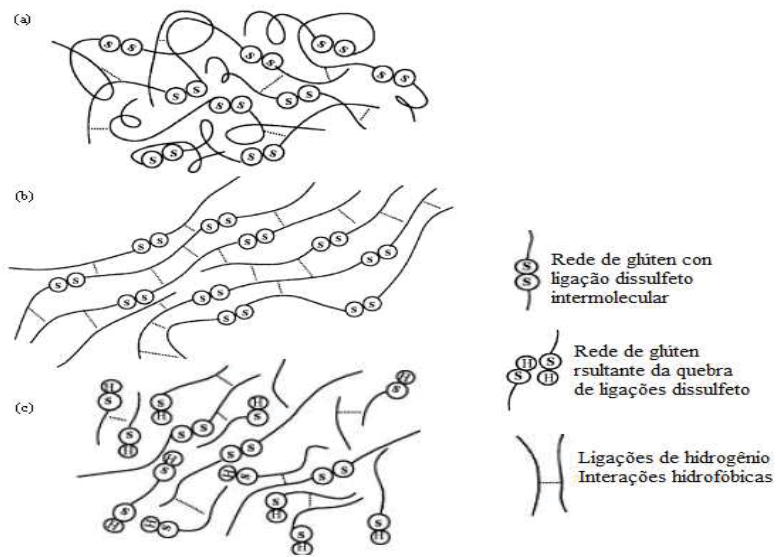
Embora a cisteína pertença aos aminoácidos em menor proporção nas proteínas do glúten, aproximadamente 2%, as mesmas são extremamente importantes para a estrutura e funcionalidade do glúten (WIESER, 2007). A maioria das cisteínas estão presentes num estado oxidado possibilitando ligações dissulfeto intramoleculares e intermoleculares entre as proteínas. Esses títulos são o principal alvo para a maioria das reações redox que ocorrem durante a maturação de grãos, moagem, preparo da massa e panificação (WIESER, 2007).

### 2.4.1 Formação da rede de glúten durante a panificação

Na fase inicial de mistura, as moléculas de proteína são hidratadas e as suas fibrilas aderem-se umas as outras formando uma rede desorganizada de fios espessos (Figura 3a). Sob ação continuada da mistura, mais proteínas são hidratadas e as gluteninas tendem a se alinhar devido ao cisalhamento e alongamento as forças impostas. Nesta fase, a rede de glúten está mais desenvolvida pelas ligações cruzadas entre as proteínas com pontes de dissulfeto (Figura 3b). No desenvolvimento ótimo da massa, as interações entre os polímeros de ligações cruzadas são cada vez mais fortes, levando a um aumento na resistência da massa. Quando a massa é misturada além do seu desenvolvimento ideal, as ligações cruzadas começam a romper devido à quebra das ligações dissulfeto (Figura 3c), ocorre à despolimerização das gluteninas e a massa torna-se menos resistente. As proteínas gliadinas, formam então uma matriz de polímeros dentro da rede e contribuem para extensibilidade através da formação de um comportamento viscoso. Aumentando as interações entre polímeros de proteína, aumenta a resistência viscosa do glúten e a resistência à extensão. Considera-se que as gliadinas agem como plastificante, promovendo um comportamento viscoso e a extensibilidade de glúten (KUKTAITE et al., 2004).

Os grupos S-H livre e pontes dissulfeto (S-S) têm influência significativa na formação da estrutura e estabilidade da massa. Durante a formação da massa, ocorre a oxidação de grupos sulfidril de resíduos de cisteína dentro da proteína (intramolecular) e entre as proteínas (intermolecular). As ligações S-S estabelecidas são responsáveis pela formação da rede de glúten e, portanto, eles são os principais determinantes das propriedades reológicas da massa (DELCOUR et al., 2012). A quebra dessas ligações pode causar despolimerização do glúten e resultar em aumento do teor de S-H livre. As alterações no nível de S-H livre são indicações persuasivas da variação de ligações S-S (WANG et al., 2014), que contribuem para a formação da rede tridimensional de glúten.

Figura 3 – Representação molecular do desenvolvimento do glúten.

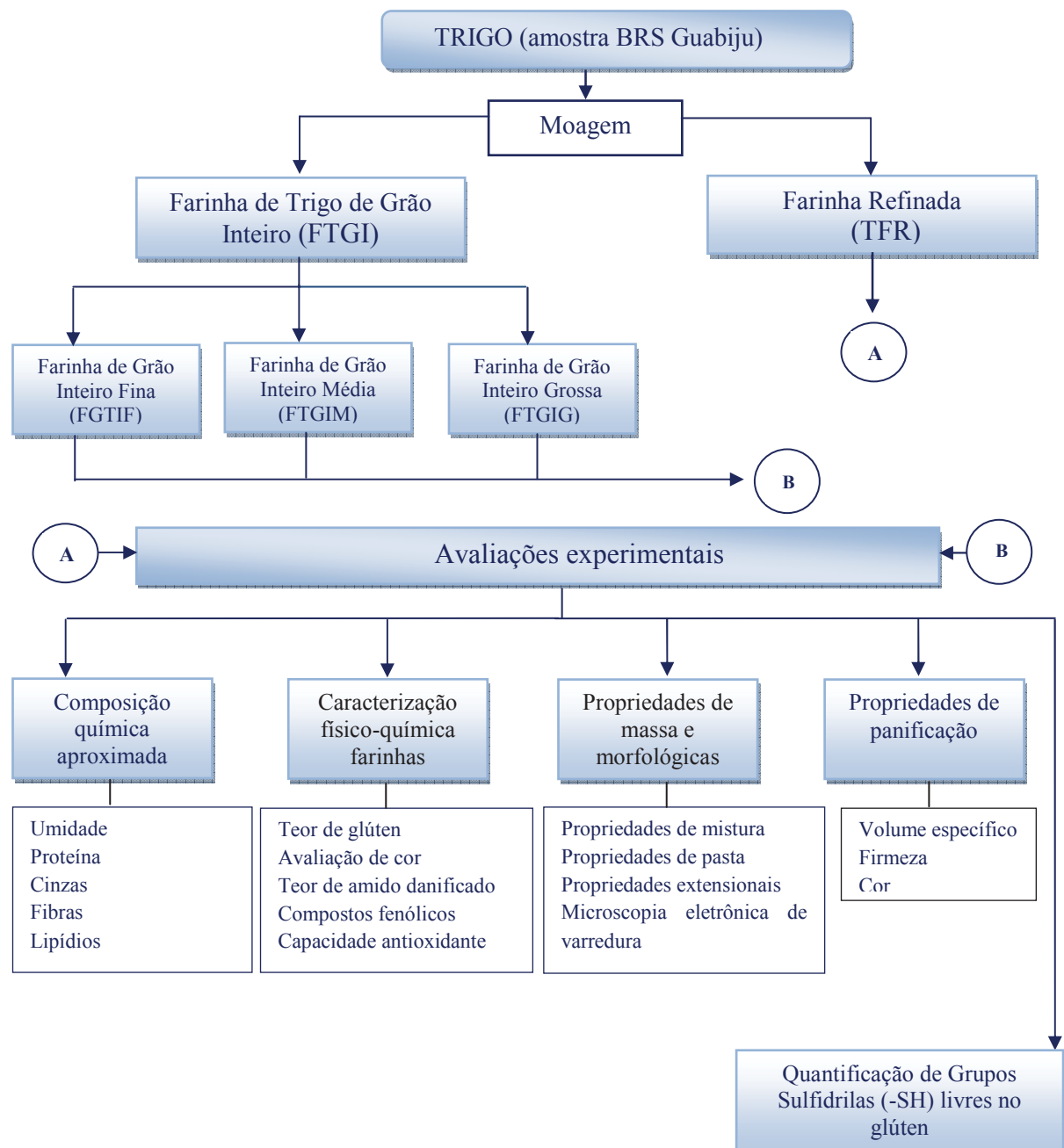


(a) início da mistura, (b) desenvolvimento ótimo e (c) quebra das ligações  
 Fonte: Adaptado de Letang et al.:(1999)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

As atividades experimentais realizadas nesse estudo, moagem das amostras, caracterização das farinhas e estudo das propriedades da massa e de panificação estão representadas na Figura 4.

Figura 4- Fluxograma das atividades experimentais



### 3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL

#### 3.1.1 Grãos de trigo

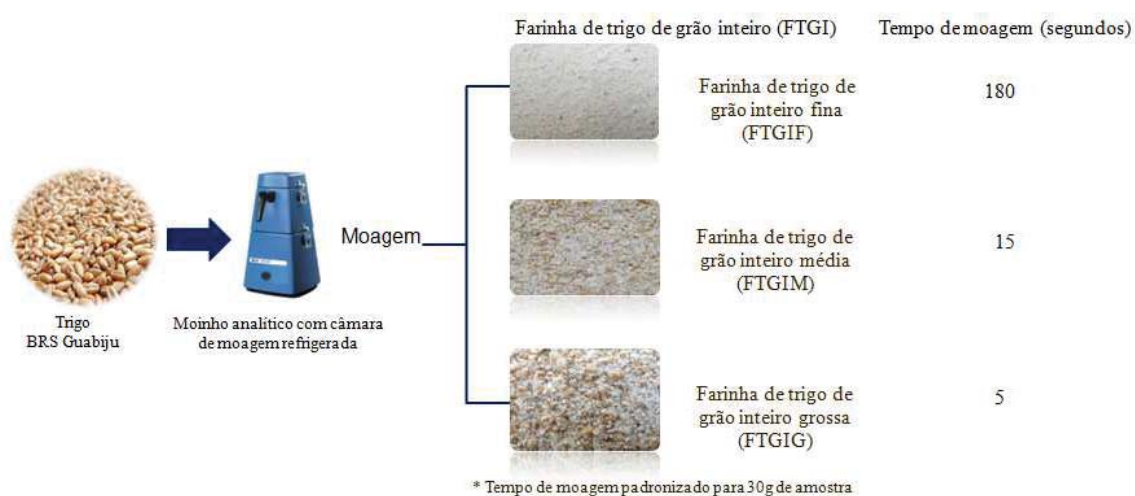
Os grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) utilizados neste estudo foram provenientes da safra 2014/2015, da cultivar BRS Guabiju e cedidos pela Cooperativa Agrária Agroindustrial, de Guarapuava, PR.

#### 3.1.2 Preparo da farinha de trigo refinada e farinha de trigo de grão inteiro

A farinha de trigo refinada (FTR) foi obtida pela moagem dos grãos de trigo em moinho de experimental (CD1, Chopin, França), de acordo com o método 26-10.02 da *American Association of Cereal Chemistry* (AACC, 2010), com taxa de extração de 70 g 100 g<sup>-1</sup>.

As amostras de FTGI foram obtidas por moagem do trigo utilizando moinho de laboratório com câmara de moagem refrigerada (M20, IKA, Alemanha). O tempo de moagem foi de 180 s, 15 s, e 5 s para obtenção das amostras de farinha fina, média e grossa, respectivamente. O processo detalhado da moagem e de produção das farinhas está apresentado na Figura 5.

Figura 5- Representação do processo de moagem e produção das farinhas de trigo de grão inteiro com diferentes tamanhos de partícula



FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina. FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média. FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa.

O processo de moagem dos grãos resultou em três amostras de FTGI. A distribuição do tamanho médio das partículas das amostras foi realizada pelo método de difração a laser em determinador de tamanho de partícula (LV-950, Horiba, Japão), utilizando o módulo de dispersão seca. As farinhas apresentaram tamanho médio de 194,9  $\mu\text{m}$ , denominada farinha de trigo de grão inteiro fina (FTGIF); 609,4  $\mu\text{m}$ , denominada farinha de trigo de grão inteira média (FTGIM) e; 830,0  $\mu\text{m}$ , denominada farinha de trigo de grão inteira grossa (FTGIG). A FTR obtida pela moagem dos grãos de trigo em moinho experimental CD1 apresentou tamanho médio de 82,67  $\mu\text{m}$ .

### **3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL**

Os experimentos de caracterização, estudo das propriedades da massa e de panificação foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, utilizando quatro farinhas de diferentes granulometrias de moagem, sendo três obtidas de grão inteiro de trigo e uma de farinha de trigo refinada, utilizada como controle. Todas as análises foram realizadas em triplicata, exceto a microscopia eletrônica de varredura. Para as características de qualidade da panificação (volume e firmeza) foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson a fim de avaliar o grau de relação entre essas variáveis e as propriedades de massa.

### **3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA**

#### **3.3.1 Teor de umidade**

A determinação do teor de umidade foi realizada de acordo o método nº 44-15.02 da AACC (2010), em estufa com circulação de ar a 130 °C por uma hora.

#### **3.3.2 Teor de proteínas**

O teor de proteína bruta foi determinado pela técnica de Kjeldahl, de acordo com o método nº 46-10.01 da AACC (2010). Para converter o valor de nitrogênio total em proteína bruta, foram utilizados os fatores de conversão de 5,7 para as amostras de farinha refinada e de 5,83 para as amostras de farinha de grão inteiro de trigo.

### 3.3.3 Teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas foi realizada de acordo com o método nº 08-12.01 da AACC (2010). As cinzas correspondem ao resíduo obtido por incineração em temperatura de 550°C.

### 3.3.4 Fibra alimentar

A determinação do teor de fibra alimentar foi realizada de acordo com o método nº 32-07.01 da AACC (2010), pela utilização de kit enzimático (*Total Dietary Fiber Assay Kit*, Sigma-Aldrich<sup>®</sup>, EUA).

### 3.3.5 Teor de lipídios

A determinação do teor de lipídios foi realizada pelo método da nº 30.20.01 da AACC (2010). Esta análise se baseia na quantidade de material extraído com solvente por gravimetria.

## 3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

### 3.4.1 Teor de glúten

A análise do teor de glúten foi realizada pelo método nº 38-12.02 da AACC (2010), em equipamento Sistema Glutomatic (modelo 2100, Perten Instruments, EUA) que fornece valores de índice de glúten, glúten úmido e glúten seco. Para as farinhas integrais de grão inteiro foi empregada a peneira fina de poliéster usualmente utilizada neste método (de 88 µm de abertura) durante 120 segundos, até que a massa fosse formada. Após este período, foi utilizada peneira de abertura maior (840 µm) para que fosse possível a eliminação das camadas fibrosas das farinhas integrais durante o restante do período de lavagem.

### 3.4.2 Cor

A avaliação da cor das amostras foi realizada utilizando espectrofotômetro de refletância difusa (modelo ColorQuest II, HunterLab, EUA), com sensor óptico geométrico de



esfera para obtenção dos valores  $L^*$  (luminosidade), que variam entre zero (preto) e 100 (branco) e coordenadas de cromaticidade  $-a^*$ , que varia de -60 (verde) até  $+a^*$ , +60 (vermelho), e  $-b^*$ , que varia entre -60 (azul) e  $+b^*$ , +60 (amarelo).

### **3.4.3 Teor de amido danificado**

O teor de amido danificado foi determinado de acordo com o método nº 76-33.01 da AACCC (2010) em equipamento (modelo SDmatic, Chopin, França). O ensaio foi realizado com 1,0 g de amostra de farinha, pelo método que consiste em medir a quantidade de iodo absorvido pelos grânulos de amido, em uma solução com temperatura de 35°C.

## **3.5 DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS**

### **3.5.1 Preparação dos extratos**

Os extratos foram preparados de acordo com o procedimento de Moore et al. (2006) pela agitação contínua de 2,5 g de amostra, com 20 mL de acetona a 50% durante 10 minutos, em equipamento vórtex. Após a agitação, as amostras foram centrifugadas durante 10 minutos a 4.500 rpm e o sobrenadante coletado. O procedimento de extração foi repetido com o precipitado duas outras vezes e os sobrenadantes reunidos em um novo tubo. Os extratos foram armazenados a -20°C até análise posterior.

### **3.5.2 Determinação de compostos fenólicos totais**

O conteúdo de compostos fenólicos totais foi determinado utilizando o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, com algumas modificações (SINGLETON; ORTHOFER; LAMUELA-RAVENTOS, 1999). Alíquotas de 0,2 mL dos extratos foram diluídas em 5,0 mL de água deionizada e oxidadas com 0,25 mL de reagente de Folin-Ciocalteu (1M). Passados 5 minutos de reação, a mistura foi neutralizada com 1,5 mL de carbonato de sódio 20% e agitada em vórtex durante 1,0 minuto. Após incubação de 30 minutos no escuro e a temperatura ambiente, a absorbância foi medida em espectrofotômetro UV-VIS (modelo Biospectrometer Kinetic, Eppendorf, Alemanha) a 765 nm. A quantificação foi feita com base em curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes ácido gálico (GAE) por 100 gramas de amostra.

### 3.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELO MÉTODO DPPH

A atividade antioxidante das amostras foi avaliada utilizando o método do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) de acordo com Brand-William, Cuvelier e Berset (1995), seguido de modificações conforme Mensor et al. (2001) e Prado et al. (2009). Após o preparo do radical (0,1 mM - 0,03943 g de DPPH dissolvido em 10 mL de metanol PA.), uma alíquota de 2,9 mL do mesmo foi combinada com 0,1 mL dos extratos das amostras em tubos de ensaio. Os tubos de ensaio foram mantidos ao abrigo da luz e, as medidas de absorbância realizadas em espectrofotômetro UV-VIS (modelo Biospectrometer kinetic, Eppendorf, Alemanha) a 515 nm, após 30 minutos.

Os valores de DPPH foram expressos como porcentagem de inibição, realizado de acordo com a Equação 1.

$$\% \text{ de inibição} = \left(1 - \frac{A_f}{A_0}\right) * 100 \quad (1)$$

sendo:

$A_f$ : Absorbância da amostra

$A_0$ : Absorbância do branco

### 3.7 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELO MÉTODO ABTS

A atividade antioxidante das amostras pelo método do radical ABTS [2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)] foi realizada de acordo com Re et al. (1999) com algumas modificações. Após o preparo da solução estoque (7,0 mM - 38,4 mg do reativo ABTS dissolvido em 100 mL de água deionizada), e da solução de persulfato de potássio (2,45 mM - 42,7 mg de persulfato de potássio dissolvido em 100 mL de água deionizada), foi preparada a solução radical ABTS a partir da reação de 100 mL da solução estoque de ABTS com 100 mL da solução de persulfato de potássio, esta foi homogeneizada e mantida ao abrigo da luz mínimo durante 16 horas antes do início das análises. Para o ensaio, uma alíquota de 20 µL de extrato foi misturada com 980 µL da solução de trabalho de ABTS. A absorbância da mistura foi medida em espectrofotômetro UV-VIS (modelo Biospectrometer kinetic, Eppendorf, Alemanha) a 734 nm após 6 minutos de incubação sob o abrigo de luz. A

quantificação foi feita com base em uma curva padrão de ácido ascórbico. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{M}$  de ácido ascórbico (EAA) por grama de amostra.

### **3.8 PROPRIEDADES DE MASSA**

#### **3.8.1 Propriedades de mistura**

O comportamento das farinhas durante o processo de mistura foi avaliado segundo o método nº 54-21.02 da AACC (2010), em equipamento Promilógrafo (modelo T6-E, Koloman Egger, Áustria) utilizando 200 g de farinha de trigo corrigidos para 14% de umidade e consistência de  $500 \pm 20$  Unidades Promilográficas. Os parâmetros avaliados foram: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, índice de tolerância à mistura e estabilidade da massa.

#### **3.8.2 Resistência à extensão e extensibilidade**

Para este teste, preparou-se amostra de massa em Promilógrafo utilizando a absorção de água da farinha obtida (item 3.8.1) e substituindo 2% deste valor por cloreto de sódio. O tempo de formação da massa utilizado foi o tempo necessário para atingir a consistência de 500 UF. Posteriormente, a massa elaborada foi mantida em repouso durante 45 minutos.

O teste de resistência à extensão e extensibilidade da massa foi realizado utilizando analisador de textura (modelo TA-XT2i, Stable Micro Systems, Reino Unido), equipado com o software *Exponent 32*, empregando probe *Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig* (A/KIE). As condições aplicadas ao ensaio foram: velocidade de pré-teste: 2,0 mm/s, velocidade de teste: 3,3 mm/s, velocidade de pós-teste: 10,0 mm/s e distância de 75,0 mm.

Para esta análise, aproximadamente 50 g de cada amostra de massa foram moldadas em tiras de 7,0 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento em molde de teflon que acompanha o equipamento.

#### **3.8.3 Propriedades de pasta**

As propriedades de pasta foram avaliadas em equipamento viscosímetro (modelo RVA-3D, Newport Scientific, Austrália), equipado com software *Termocline for Windows*, versão 3.1, de acordo com o método nº 76-21.01 da AACC (2010). Foram utilizados

aproximadamente 3,5 g de farinha corrigidos para 14% de umidade e  $25\pm 0,1$  mL de água destilada. O perfil de temperatura *Standard 1* foi empregado, em que as amostras são mantidas a 50 °C por 1 minuto, aquecidas até 95 °C em 3,5 minutos e mantidas nesta temperatura durante 2,5 minutos, resfriadas a 50 °C em 3,8 minutos e mantidas nesta temperatura até completar o tempo total de 13 minutos de análise. Os parâmetros considerados foram: viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante, quebra, viscosidade final e tendência à retrogradação.

### **3.9 PROPRIEDADES DE MICROESTRUTURA**

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada nas massas das amostras de farinha, as quais foram preparadas pelo método de Kim et al. (2003) com adaptações. A amostra de massa foi preparada em Promilógrafo utilizando a absorção de água da farinha obtida (item 3.5.1) e substituindo 2% deste valor por cloreto de sódio. O tempo de formação da massa utilizado foi o tempo necessário para atingir a consistência de 500 UF. Após o preparo, as amostras foram congeladas em ultra freezer (modelo CL120-80V, Coldlab, Brasil) a - 70 °C e desidratadas em liofilizador (modelo LS X.000, Terroni, Brasil) por 6 h.

As amostras liofilizadas foram recobertas com ouro e para obtenção das micrografias foi utilizado microscópio eletrônico de varredura (modelo VEGA3 LM, marca Shimadzu, Japão) a 20 kV e ampliação de 2000 x.

### **3.10 PROPRIEDADES DE PANIFICAÇÃO**

Os pães elaborados com farinha de grão inteiro de trigo com diferentes tamanhos de partícula e farinha refinada foram avaliados em relação ao volume específico, cor e firmeza.

#### **3.10.1 Teste instrumental de panificação em pequena escala**

O teste de panificação experimental foi realizado segundo o método desenvolvido por ORO (2013) com pequenas adaptações. As massas foram preparadas de acordo com as proporções de ingredientes descritas na Tabela 1.

Tabela 1- Proporções dos ingredientes utilizados na formulação dos pães.

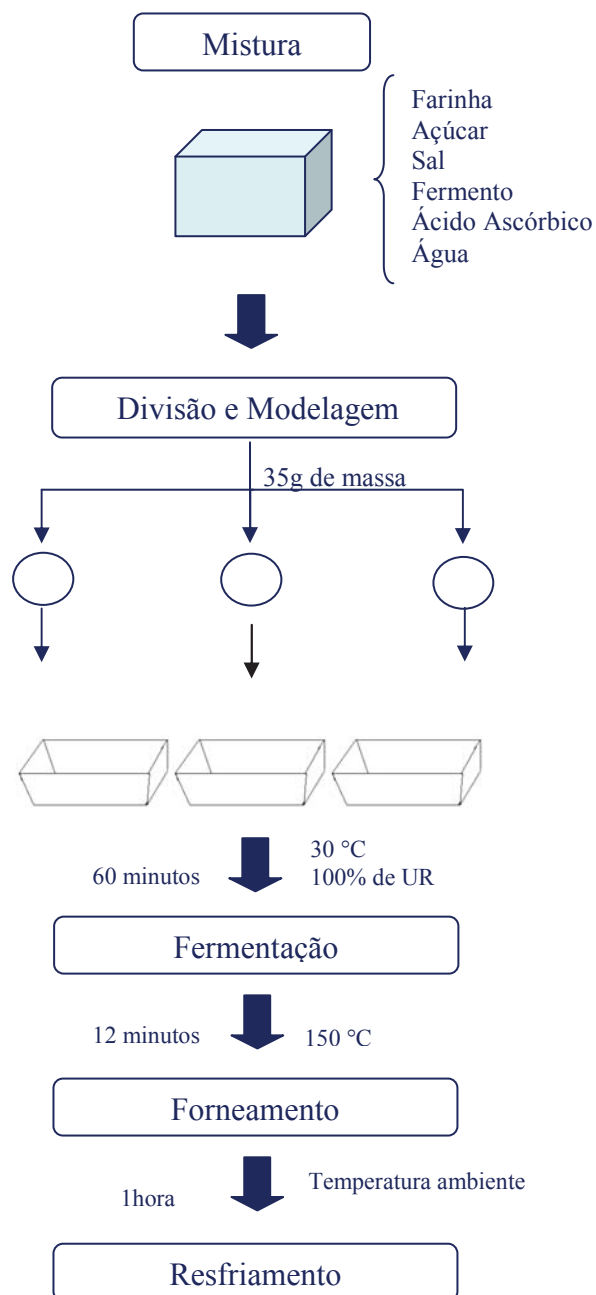
<b>Ingredientes</b>	<b>Partes (%)</b>	<b>FR</b>	<b>FGIF</b>	<b>FGIM</b>	<b>FGIG</b>
Farinha (g)	100	100	100	100	100
Açúcar (g)	5	5	5	5	5
Fermento (g)	3	3	3	3	3
Sal (g)	2	2	2	2	2
Gordura (g)	3	3	3	3	3
Ácido ascórbico (g)	0,009 g/100g	0,009	0,009	0,009	0,009

FR: Farinha Refinada. FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina. FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média. FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa.

A farinha foi colocada na masseira do promilógrafo (mantida em temperatura constante de 30 °C) e misturada durante 1 minuto. Em seguida, foram adicionados o açúcar, o fermento, o sal, a gordura vegetal hidrogenada e o ácido ascórbico e também misturados durante 1 minuto. Após este período, foi adicionada água destilada em quantidade suficiente para que a massa formada atingisse a consistência máxima de 650 ( $\pm$  20) UF, empregando 6,0 minutos como tempo de desenvolvimento da massa.

Finalizada a etapa de amassamento, a massa foi fracionada em três partes iguais de 35,0 g. As frações foram moldadas com o auxílio de cilindro manual (Pasiani, Brasil) e colocadas em formas de aço inox, previamente untadas com gordura vegetal hidrogenada. As massas permaneceram em câmara de descanso (Multi Pão, Brasil) sob temperatura controlada de 30 °C e 100% de umidade relativa durante 60 minutos. Posteriormente, foram submetidas a cozimento em forno (modelo QA 226, Labor Instruments Works, Hungria) com temperatura controlada de 150 °C e tempo de cozimento de 12 minutos. Os pães permaneceram em temperatura ambiente por 1 hora após cozimento para esfriar antes das análises de qualidade. O processo de elaboração dos pães está ilustrado na Figura 6.

Figura 6- Fluxograma do processo de panificação em pequena escala.



### 3.10.2 Avaliação das características de qualidade dos pães

#### 3.10.2.1 Volume específico

A avaliação do volume dos pães foi determinada em aparelho Vondel (modelo VDMV-03/MVP-1300, Vondel, Brasil), pelo deslocamento de sementes de canola e o volume específico calculado pela relação entre o volume do pão assado e a sua massa, obtida por

pesagem em balança eletrônica (modelo 3100, Mark, EUA), com precisão de 0,01g. Os resultados foram expressos em mL.g<sup>-1</sup>.

### 3.10.2.2 Cor

Os pães foram avaliados quanto à cor da crosta e do miolo utilizando Espectrofotômetro de refletância difusa (modelo ColorQuest II, HunterLab, EUA) com sensor óptico geométrico de esfera para obtenção dos valores L\* (luminosidade), que variam entre zero (preto) e 100 (branco) e a\* e b\* são coordenadas de cromaticidade: a\*, em que os valores negativos (-a\*) correspondem ao verde (-60) e os positivos (+a\*) correspondem ao vermelho (+60) e b\*, em que os valores negativos (-b\*) correspondem ao azul (-60) e os positivos (+b\*) correspondem ao amarelo (+60).

### 3.10.2.3 Firmeza dos pães

A análise de firmeza dos pães foi realizada em acordo com o método 74-09.01 da AACC (2010) com emprego do texturômetro (modelo TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Inglaterra), equipado com software *Exponent 32*. Os pães foram fatiados na espessura de 25,0 mm com emprego de faca elétrica, realizado a remoção da crosta e a redução do tamanho das fatias para 25 mm de largura x 25 mm de comprimento. O teste foi realizado utilizando probe cilíndrico de alumínio P/36R (raio de 36,0 mm), velocidade pré-teste de 1,0 mm.s<sup>-1</sup>; velocidade do teste de 1,7 mm.s<sup>-1</sup>; velocidade pós-teste de 10,0 mm.s<sup>-1</sup> e força de compressão de 40%.

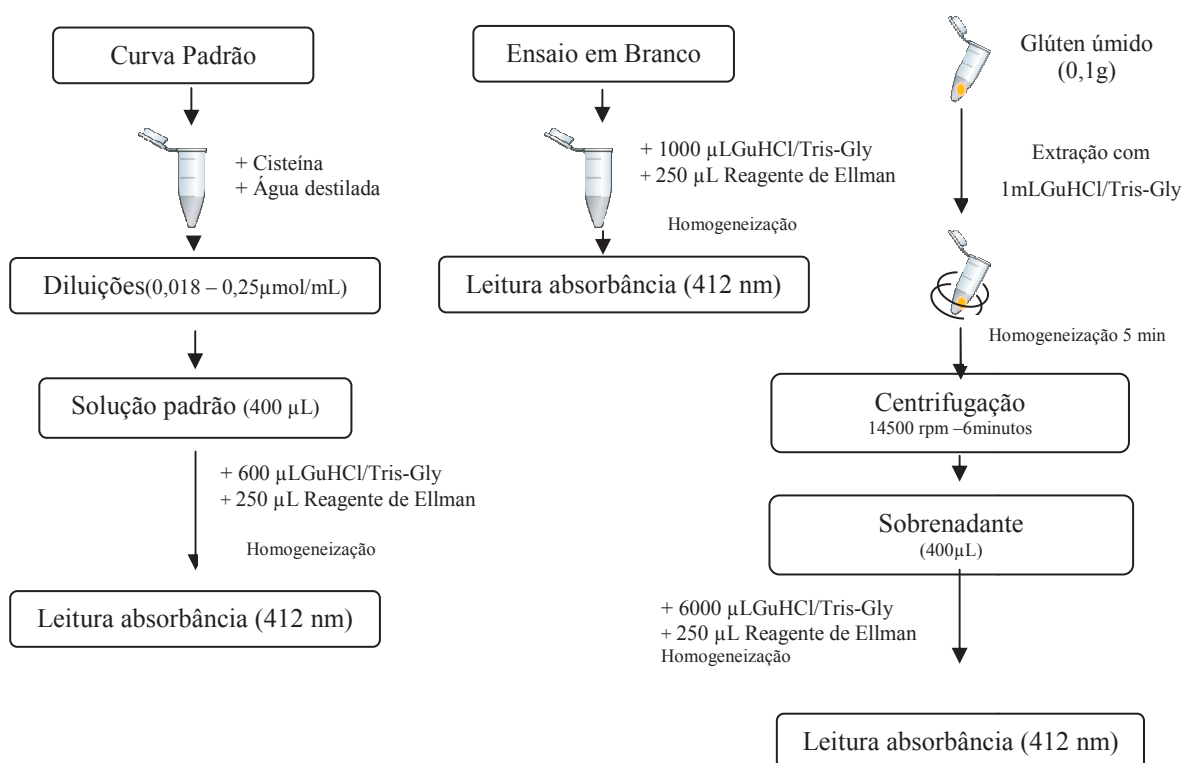
## 3.11 DETERMINAÇÃO DOS GRUPOS SULFIDRILAS LIVRES

A determinação de grupos sulfidríla (-SH) livres foi realizada utilizando glúten úmido de acordo com o método de Pérez et al. (2005), adaptado por Rakita et al. (2014). As amostras de glúten úmido foram preparadas como descrito no item 3.4.1. Para a determinação de grupos SH livres, 0,1 g das amostras de glúten úmido foram incubados em água, separadamente, a duas temperaturas, 30 °C e 37 °C, durante três intervalos de tempo diferentes, 45, 90 e 135 minutos.

Para o ensaio, foi preparado tampão Tris-Glicina (10,4 g de Tris, 6,9 g de Glicina e 12 g de EDTA em 1,0 L de água deionizada), com pH ajustado para 8,0 com solução de NaOH

1 mol/L. Uma solução de hidrocloreto de guanidina (5,0 M) foi preparada utilizando tampão Tris-Glicina como solvente (GuHCl/Tris-Gli). O reagente de Ellman foi preparado utilizando-se 40,0 mg de DTNB (ácido 5,5'-ditiobis-2-nitrobenzóico) em 10 mL de tampão Tris-Glicina, no momento da análise. Para o procedimento de análise, cada amostra de glúten úmido (100 mg) foi suspensa em 1,0 mL de solução de GuHCl /Tris-Gli e agitada em vórtex durante 5,0 minutos e posteriormente centrifugada a 14.500 rpm durante 6,0 minutos. O volume de 400  $\mu$ L de sobrenadante foi adicionado a 600  $\mu$ L de solução de GuHCl/Tris-Gli, e a 250  $\mu$ L de reagente de Ellman e agitado por 1,0 minuto em vórtex. A absorbância foi lida a 412 nm e os resultados calculados a partir de uma curva padrão de cisteína a partir de uma solução estoque 0,83  $\mu$ mol/mL. O resumo do método utilizado está apresentado na Figura 7.

Figura 7- Método utilizado para a determinação do teor de grupos sulfidrila livres em amostras de glúten de trigo.



### 3.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O processamento de dados e análise estatística foi realizado com o uso do programa estatístico Sisvar<sup>®</sup> Versão 4.3, Build 75. A significância dos dados foi testada pela análise de



variância (Anova) a 0,01 e 0,05 de probabilidade de erro e, nos modelos significativos, as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey 95% de intervalo de confiança.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

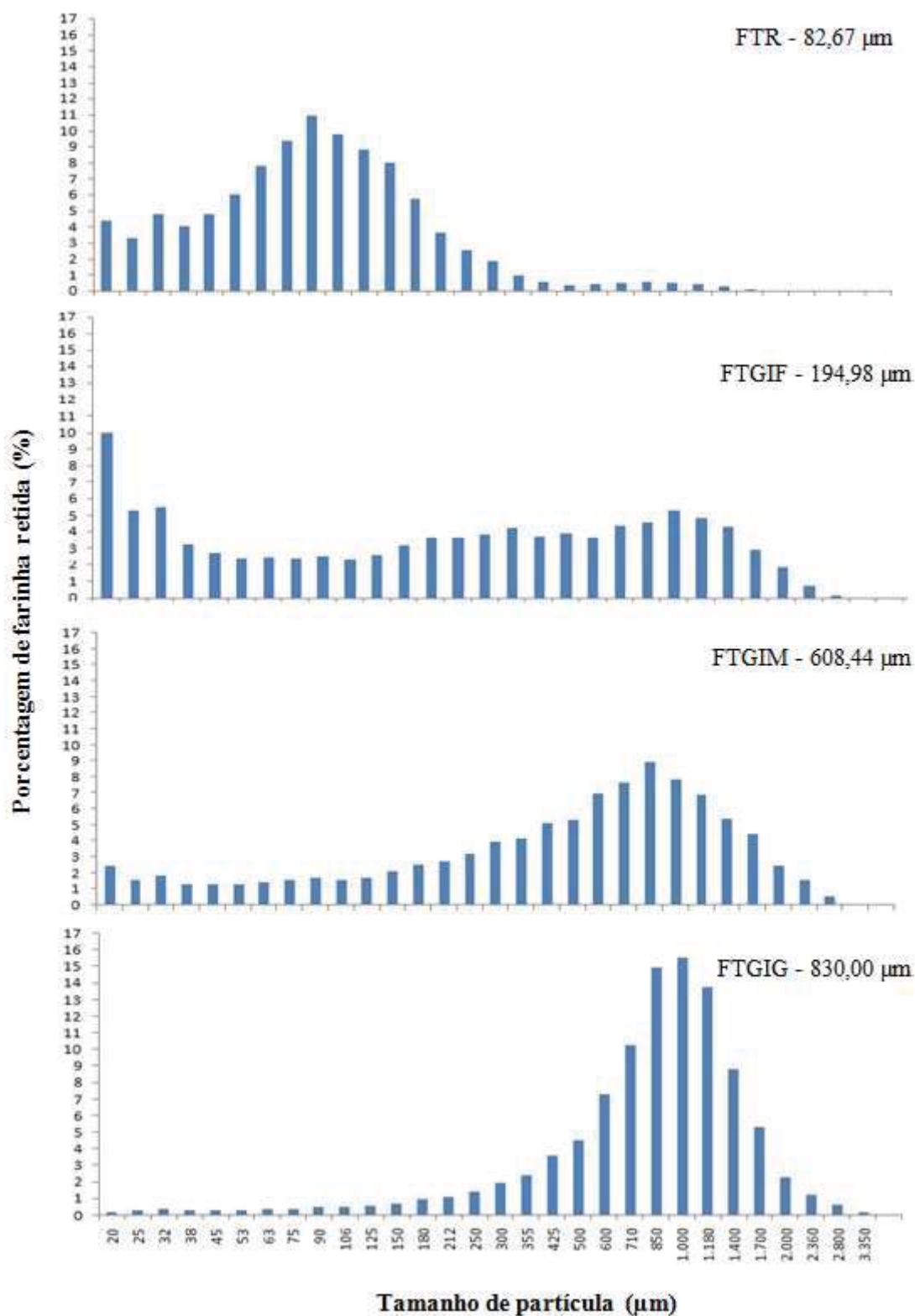
### 4.1 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO MÉDIO DE PARTÍCULA

O perfil da distribuição do tamanho médio das partículas das amostras de FTR e FTGI estão apresentados na Figura 8. O tamanho médio de partícula das FTGI obtido com o aumento do tempo de moagem de 5 segundos para 180 segundos foi de 830,00  $\mu\text{m}$  para 194,98  $\mu\text{m}$ .

O perfil de distribuição da amostra de 830,00  $\mu\text{m}$ , classificada como FTGIG, foi semelhante uma distribuição gaussiana, abrangendo a faixa de 20  $\mu\text{m}$  a 3500  $\mu\text{m}$  com maior concentração das partículas entre de 710  $\mu\text{m}$  a 1180  $\mu\text{m}$ . A amostra de FTGIM apresentou um tamanho médio de partícula de 608,44  $\mu\text{m}$ , em que 53,11% das partículas foram distribuídas no intervalo entre 250  $\mu\text{m}$  e 1000  $\mu\text{m}$ . O perfil da amostra de FTGIF revelou uma distribuição binominal de tamanhos de partículas e um tamanho médio de partícula de 194,98  $\mu\text{m}$ , sugerindo a existência de duas populações de tamanhos de partícula. A FTR apresentou o menor tamanho médio de partícula 82,67  $\mu\text{m}$ , característico para este tipo de moagem, em que 93% das partículas foram distribuídas no intervalo de 0  $\mu\text{m}$  a 250  $\mu\text{m}$ .

As distribuições do tamanho das partículas observadas nas amostras de FTGI demonstram que, de acordo com a intensidade do tratamento de moagem, as amostras podem ser listadas como FTGIG > FTGIM > FTGIF. A FTGIF foi caracterizada pela grande heterogeneidade em termos de tamanho de partículas pela grande área de distribuição de tamanho de partícula que abrangeu. Estes resultados indicaram que a moagem realizada foi eficaz para elaborar as amostras de FTGI com diferentes tamanhos de partícula.

Figura 8 - Perfil de distribuição de tamanho de partícula da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.



Resultados expressos como médias de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada. FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina. FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média. FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa.

## 4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química influencia diretamente nas características físico-químicas e reológicas das farinhas e é um dos fatores determinantes para a qualidade tecnológica. A Tabela 2 apresenta a composição química aproximada das amostras de FTR e FTGI.

Tabela 2- Composição química aproximada da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

<b>Amostra</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Proteínas (%)</b>	<b>Lipídios (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Fibras (%)</b>
FTR	14,08 <sup>a</sup> ± 0,12	13,85 <sup>b</sup> ± 0,06	1,59 <sup>b</sup> ± 0,08	0,56 <sup>b</sup> ± 0,02	3,61 <sup>c</sup> ± 0,02
FTGIF	11,68 <sup>c</sup> ± 0,13	14,98 <sup>a</sup> ± 0,08	1,97 <sup>a</sup> ± 0,35	1,70 <sup>a</sup> ± 0,00	12,45 <sup>b</sup> ± 0,71
FTGIM	12,62 <sup>b</sup> ± 0,14	14,81 <sup>a</sup> ± 0,13	1,94 <sup>a</sup> ± 0,16	1,70 <sup>a</sup> ± 0,02	14,95 <sup>a</sup> ± 0,04
FTFIG	12,44 <sup>b</sup> ± 0,10	14,72 <sup>a</sup> ± 0,16	1,93 <sup>a</sup> ± 0,12	1,67 <sup>a</sup> ± 0,01	15,95 <sup>a</sup> ± 0,15

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão, expressos em base seca. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67 µm). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98 µm). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44 µm). FTFIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00 µm).

Os resultados para composição química mostraram que as FTGI apresentaram maior conteúdo de proteínas, lipídios, cinzas e fibras em relação à FTR. A presença do gérmen, rico em lipídios e das camadas externas, ricas em proteínas, matéria mineral e fibras justificam os teores mais elevados nas farinhas elaboradas pela moagem inteira do grão.

Os lipídios, apesar de estarem presentes em pequena proporção na farinha são os componentes mais instáveis na FTGI (POMERAN, 1988). A degradação dos lipídios é a causa predominante da perda de funcionalidade durante o armazenamento da farinha (DOBLADO-MALDONADO et al., 2012).

O teor de umidade foi significativamente inferior nas FTGI em relação à farinha refinada. Isto pode ser devido à forma diferenciada de preparo das amostras, sendo na moagem de farinha refinada realizado o condicionamento prévio do grão de trigo. Entre os diferentes tamanhos de partícula, FTGIF apresentou o menor teor de umidade e FTGIM e FTGIG apresentaram semelhança no conteúdo de umidade, devido às variações do tempo de moagem.

Os teores de proteínas e cinzas estão de acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de trigo nº 8, de 02 de junho de 2005 (BRASIL, 2005) que estipula para farinha de trigo tipo 1 teor mínimo de 7,5 % de proteínas e máximo 0,8 % de cinzas. Embora a legislação não estabeleça padrões para FTGI, esta se encontra dentro dos

limites estipulados para farinha de trigo como integral, ou seja, mínimo de 8,0% proteínas e máximo de 2,5% cinzas. Teores de umidade também se mostraram dentro do limite de umidade estipulado na legislação (BRASIL, 2005), a qual estabelece que o teor de umidade não deve ser superior a 15%.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

#### 4.3.1 Teor de glúten

A determinação da quantidade e da qualidade do glúten na farinha é uma das melhores ferramentas para avaliar o potencial de panificação, já que o glúten é responsável pela retenção de gás na massa, propriedade relacionada à qualidade final dos produtos, como textura, forma e expansão (LÉON, 2007). A Tabela 3 mostra os resultados dos teores de glúten úmido, seco e índice de glúten das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

Tabela 3- Teor de glúten das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

<b>Amostra</b>	<b>Glúten úmido (%)</b>	<b>Glúten seco (%)</b>	<b>Índice de glúten (%)</b>
FTR	40,64 <sup>a</sup> ± 0,22	13,05 <sup>a</sup> ± 0,13	97,99 <sup>a</sup> ± 0,27
FTGIF	39,29 <sup>a</sup> ± 0,74	13,44 <sup>ab</sup> ± 0,16	96,87 <sup>ab</sup> ± 0,47
FTGIM	34,71 <sup>b</sup> ± 0,70	12,14 <sup>b</sup> ± 0,24	96,77 <sup>ab</sup> ± 0,57
FTGIG	25,03 <sup>c</sup> ± 1,38	8,40 <sup>c</sup> ± 0,95	96,21 <sup>b</sup> ± 1,61

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ).

O glúten úmido representa a quantidade de rendimento do glúten, medida indicativa da capacidade das proteínas do glúten em se agregarem. Na panificação, maior quantidade no teor de glúten é desejável. As amostras de FTGI com maior tamanho de partícula (FTGIM e FTGIG) apresentaram teores de glúten significativamente menores que a da FTR. A FTGIG apresentou o maior efeito negativo em relação à FTR (- 61,58%). Isto se deve ao fato de que quanto maior o tamanho de partícula da amostra, maior a dificuldade das proteínas do glúten agregarem-se pois sofrem interferências das camadas externas do grão.

O glúten da farinha de trigo tem uma capacidade relativamente constante de absorção de água (aproximadamente 2,8 vezes o conteúdo de glúten seco) (POMERANZ, 1977). Essa relação foi observada para todas as farinhas analisadas no teor de glúten seco.

Todas as amostras puderam ser classificadas como farinhas de glúten forte, pois, de acordo com Mellado (2006), farinhas de trigo com glúten forte apresentam índice de glúten acima de 90%.

### 4.3.2 Avaliação da cor

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes à cor das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

Tabela 4- Avaliação da cor da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

<b>Amostra</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
FTR	92,09 <sup>a</sup> ± 0,03	0,94 <sup>d</sup> ± 0,01	8,64 <sup>d</sup> ± 0,03
FTGIF	84,45 <sup>b</sup> ± 0,04	0,77 <sup>c</sup> ± 0,02	10,83 <sup>c</sup> ± 0,03
FTGIM	79,11 <sup>c</sup> ± 0,05	1,49 <sup>b</sup> ± 0,04	12,32 <sup>b</sup> ± 0,10
FTGIG	72,76 <sup>d</sup> ± 0,10	2,76 <sup>a</sup> ± 0,01	14,15 <sup>a</sup> ± 0,02

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ).

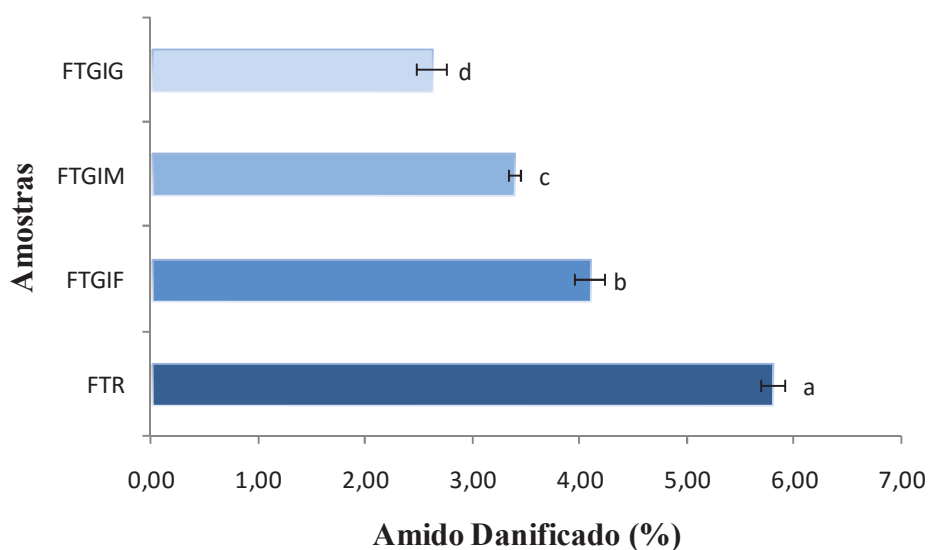
Em relação à cor, diferenças significativas entre as amostras ( $p < 0,05$ ) em relação à aos três parâmetros analisados foram observadas. Entre as FTGI, foi evidenciado aumento na luminosidade com a redução do tamanho de partícula (FGIF, 92,09). Este efeito, segundo Ahmed et al. (2013), está associado ao aumento na área de superfície, que permite maior reflexão da luz. Da mesma forma, o aumento observado nas coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$  indicam tendência a tons de cores avermelhados e amarelados, mostrando que a FTGI com partículas maiores forma farinhas mais escuras pela presença das camadas externas do grão.

### 4.3.3 Amido danificado

Os danos ao amido aumentam a absorção de água nas farinhas pela maior exposição dos grupos hidroxilas e rompimento de ligações do tipo pontes de hidrogênio entre amilose e amilopectina. Nos produtos de panificação, quando o teor de amido danificado é muito elevado, podem ocorrer alterações nas propriedades tecnológicas, como cor, textura, volume e vida de prateleira. (DELCOUR; HOSENEY, 2010).

Depois de passar pelo processo de moagem por corte e impacto, todas as amostras de FTGI analisadas apresentaram menor percentual de amido danificado que a FTR (Figura 9). Entre as amostras de FTGI, o valor de amido danificado aumentou de 2,61% na amostra de FGIG (830,00  $\mu\text{m}$ ) para 4,09% na amostra de FTGIF (194,98  $\mu\text{m}$ ), pela influência do maior tempo de moagem aplicado.

Figura 9- Teor de amido danificado da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.



Resultados expressos como média de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ).

Os resultados obtidos demonstram que a moagem aplicada neste estudo para produzir farinhas com diferentes tamanho de partícula não afetou a estrutura do amido de forma a influenciar nas propriedades tecnológicas da farinha, considerando que durante a moagem, pequena proporção (3-6%) de grânulos de amido foi fisicamente danificada. Este resultado indica que alterações nas características tecnológicas da farinha e na qualidade dos produtos



de panificação não devem ser atribuídas isoladamente ao amido danificado das amostras utilizadas.

#### 4.4 PROPRIEDADES DE MASSA

##### 4.4.1 Propriedades de mistura

A Tabela 5 apresenta as propriedades de mistura da amostra de farinha de trigo refinada e farinha de trigo de grão inteiro.

Tabela 5- Propriedades de mistura da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

<b>Amostra</b>	<b>Absorção (%)</b>	<b>TDM (min)</b>	<b>Estabilidade (min)</b>	<b>ITM (UF)</b>
FTR	65,83 <sup>d</sup> ± 0,29	9,26 <sup>b</sup> ± 1,12	17,5 <sup>a</sup> ± 0,26	23 <sup>c</sup> ± 2,65
FTGIF	76,06 <sup>a</sup> ± 0,51	7,60 <sup>b</sup> ± 1,04	12,8 <sup>b</sup> ± 1,14	50 <sup>a</sup> ± 6,98
FTGIM	72,66 <sup>b</sup> ± 0,29	11,80 <sup>a</sup> ± 0,51	12,6 <sup>b</sup> ± 0,21	40 <sup>ab</sup> ± 3,54
FTGIG	70,50 <sup>c</sup> ± 0,44	12,93 <sup>a</sup> ± 0,71	11,6 <sup>b</sup> ± 0,35	29 <sup>bc</sup> ± 0,71

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ). TDM: Tempo de Desenvolvimento da Massa. ITM: Índice de Tolerância á mistura. UF: Unidades farinográficas.

A absorção de água aumentou significativamente ( $p < 0,05$ ) para as FTGI em relação à FTR. Em farinhas refinadas, os principais componentes responsáveis pela absorção de água são o amido e as proteínas de glúten (ZAIDUL et al., 2004), enquanto que nas farinhas de grão inteiro de trigo, a presença das fibras na composição proporciona a maior capacidade de absorção (AHMED et al., 2013). A presença de grande número de grupos hidroxila na estrutura das fibras permite que maiores interações com a água ocorram através de ligações de hidrogênio (ROSSEL et al., 2001).

Entre as FTGI, além da composição rica em fibras, o tamanho de partícula afetou consideravelmente os parâmetros de mistura analisados na farinografia. A FTGIF foi caracterizada com maior absorção de água, fato que relacionado com a maior superfície de contato das partículas, que proporciona maior exposição dos grupos hidroxila em tamanhos de partículas menores de farelo (PENELLA et al., 2012).

O tempo de desenvolvimento da massa foi maior ( $p < 0,05$ ) para FTGI classificadas pelo tamanho de partícula como FTGIM e FTGIG, uma vez que a massa necessitou maior tempo para alcançar a consistência máxima quando comparado com a FTGIF e FTR. Partículas maiores absorvem água de forma mais lenta que partículas menores, tornando o tempo de desenvolvimento da massa mais longo. Além disso, a estrutura física das partículas maiores dificulta o desenvolvimento da rede de glúten, aumentando o tempo necessário para desenvolver uma massa ideal (ROSELL et al., 2006).

A estabilidade da massa, parâmetro relacionado com a força da farinha, diminuiu ( $p < 0,05$ ) nas amostras de FTGI, indicando que a presença das partes externas do grão, principalmente das fibras, na composição da farinha, levam à formação de rede de glúten mais fraca, tornando-se menos estável durante o processo de mistura prolongado.

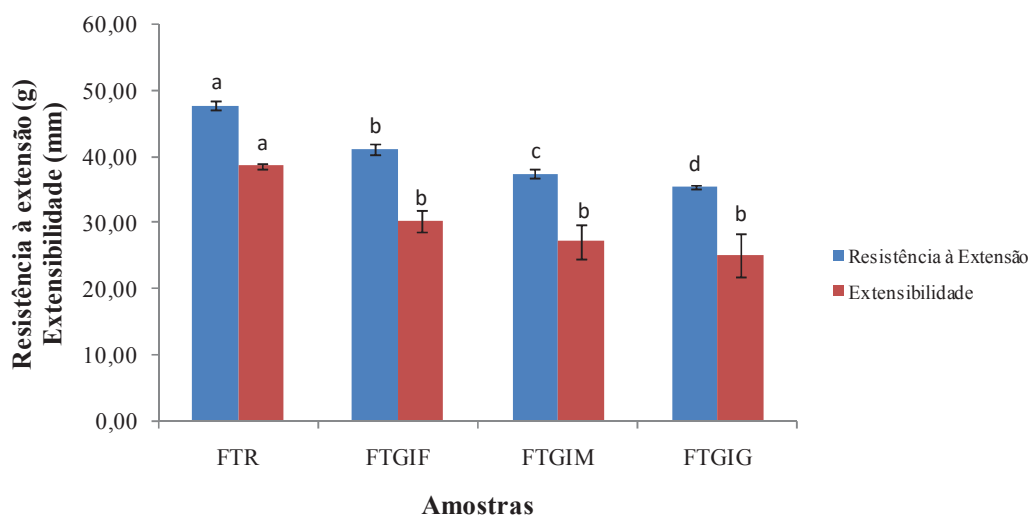
Para os valores do índice de tolerância à mistura das amostras deste estudo, notou-se que as FTGI apresentaram valores mais elevados que a FTR. Sabe-se que quanto maior for o índice de tolerância à mistura, mais fraca será classificada a farinha (JUNQUEIRA et al., 2007). O tamanho da partícula das amostras também demonstrou ser um interferente, pois foi observado aumento pronunciado no índice de tolerância à mistura com a redução do tamanho de partícula da farinha de trigo, o que significa que as massas contendo tamanho de partículas menores são menos tolerantes à mistura, como também foi observado por Zhang; Moore (1997), Penella (2012), que sugeriram que farinhas com partículas de farelo menores têm mais impacto sobre o rompimento da rede de glúten em relação a farinhas com farelo de moagem mais grosseira.

Os resultados encontrados pelo ensaio de farinografia demonstram que, além das alterações na absorção de água, o tamanho de partícula da FTGI também interfere de forma pronunciada em todos os parâmetros que envolvem o comportamento da massa durante o processo de mistura, fornecendo a confirmação da complexidade dos efeitos reológicas envolvidos.

#### **4.4.2 Resistência à extensão e extensibilidade**

As propriedades extensionais da massa são características reológicas com grande impacto sobre os atributos de qualidade dos produtos de panificação. Na Figura 10 estão representadas a resistência à extensão e a extensibilidade da massa de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

Figura 10 - Resistência à extensão e extensibilidade das massas das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.



Resultados expressos como médias de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ).

A resistência à extensão, propriedade de resistir a uma força aplicada e sua tendência em retornar à forma original (elasticidade) foi significativamente ( $p < 0,05$ ) reduzida nas amostras de FTGI na ordem FTGIG (35,46 g) < FTGIM (37,44 g) < FTGIF (41,12 g) quando comparada o valor da FTR (47,86). Este enfraquecimento da massa pode ser explicado pelo mecanismo físico de interferência que a presença das camadas externas proporciona no glúten, partículas maiores dificultam a formação de uma rede de glúten capaz de atribuir à massa uma maior resistência, por formarem rede menos coesa (SCHMIELE et al., 2012).

A extensibilidade das amostras de FTGI, da mesma forma que a resistência à extensão, também se apresentaram significativamente menores ( $p < 0,05$ ) em relação à FR. Entretanto, o tamanho de partícula das amostras de grão inteiro não resultou em diferença significativa entre os valores de extensibilidade. Bae et al. (2014), estudando as propriedades físico-químicas da farinha de trigo de grão inteiro 100%, 50% e comparando com a farinha refinada, observou o enfraquecimento das características extensíveis, as quais proporcionam impacto sobre os atributos de qualidade dos produtos de panificação como a menor retenção de gás e menor volume de pão.

#### 4.4.3 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta das farinhas estão relacionadas com o comportamento do amido na presença de água durante o aquecimento e agitação mecânica, sendo assim, importantes parâmetros a serem considerados na preparação de produtos.

Os principais parâmetros da análise rápida de viscosidade ARV, viscosidade máxima, viscosidade mínima, quebra, viscosidade final e tendência à retrogradação estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6- Propriedades de pasta das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

Amostra	ViscMáx (RVU)	ViscMín (RVU)	Quebra (RVU)	Visc final (RVU)	TendRetrogr (RVU)
FTR	209,64 <sup>a</sup> ± 1,87	135,69 <sup>a</sup> ± 1,92	73,94 <sup>a</sup> ± 0,59	221,44 <sup>a</sup> ± 3,10	85,75 <sup>a</sup> ± 1,32
FTGIF	128,97 <sup>b</sup> ± 7,53	80,69 <sup>b</sup> ± 5,25	48,28 <sup>b</sup> ± 2,35	167,25 <sup>b</sup> ± 6,80	86,55 <sup>a</sup> ± 1,56
FTGIM	92,66 <sup>c</sup> ± 6,58	68,22 <sup>c</sup> ± 4,82	24,44 <sup>c</sup> ± 1,95	145,77 <sup>b</sup> ± 7,29	77,55 <sup>b</sup> ± 2,68
FTGIG	47,19 <sup>d</sup> ± 1,04	43,30 <sup>d</sup> ± 1,55	3,89 <sup>d</sup> ± 0,54	107,73 <sup>c</sup> ± 14,13	73,75 <sup>b</sup> ± 0,80

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ). ViscMáx: viscosidade máxima. ViscMín: viscosidade mínima à temperatura constante. Quebra: viscosidade máxima menos a viscosidade mínima. Visc final: viscosidade final. TendRetrogr: tendência à retrogradação. RVU: Rapid visco unit.

As amostras de FTGI apresentaram valores significativamente ( $p < 0,05$ ) menores para todos os parâmetros de propriedades de pasta, exceto tendência a retrogradação quando comparadas com a FTR.

A viscosidade máxima reflete a extensão da gelatinização do grânulo de amido na presença de água e aquecimento, fornece uma indicação da carga viscosa susceptível a ser produzida durante a mistura (MIN et al., 2010). Os resultados obtidos para viscosidade máxima apresentados na Tabela 6 e as curvas de viscosidade representadas na Figura 11 demonstram a diminuição da viscosidade máxima das farinhas de grão inteiro de trigo em relação à farinha refinada, com variação entre 209,64 RVU e 47,19 RVU para FR e FGIG, respectivamente. O maior teor de amido em farinhas refinadas em comparação com as farinhas de grão inteiro pode contribuir para a maior viscosidade (RAGAE; ABDEL-AAL, 2006). A composição química das amostras também afeta a viscosidade. Em FTGI, interações com fibras, proteínas e lipídios podem interferir na absorção de água pelo amido, acarretando diferentes valores de viscosidade máxima (SINGH et al., 2011).

O valor de viscosidade máxima também foi influenciado pelo tamanho de partícula das amostras, mostrando que, quanto maior o tamanho da partícula de farinha, menor a viscosidade máxima observada, chegando a redução de 81,78 RVU entre a FTGIF e a FTGIG. A maior viscosidade das amostras com partículas mais finas está relacionada com o refinamento dos componentes da farinha, como carboidratos, proteínas e fibras. Além disso, estas variações podem estar relacionadas ao comportamento diferenciado das amostras em relação às taxas de absorção de água e expansão dos grânulos de amido, que podem ser maiores nas farinhas de menor tamanho de partícula devido o aumento da área de superfície de contato (BOLADE et al., 2009).

A redução da viscosidade de pasta de amido observada durante o período de temperatura constante, representada pela viscosidade mínima e está associada à estabilidade dos grânulos de amido ao aquecimento. Durante o período do teste, as pastas de amido são sujeitas a temperaturas elevadas e agitação mecânica que faz com que ocorra a ruptura dos grânulos de amido intumescidos, resultando na lixiviação da amilose, que leva à diminuição na viscosidade da pasta (LEON et al., 2010). Os resultados obtidos para viscosidade mínima, assim como os obtidos para viscosidade máxima, apresentaram valores que diminuíram à medida que aumentou o tamanho de partícula das farinhas de grão inteiro.

A quebra, medida do grau de desintegração dos grânulos de amido devido à agitação mecânica contínua a altas temperaturas é calculada pela diferença entre os valores de viscosidade máxima e de viscosidade mínima a temperatura constante. Os valores de quebra para as farinhas de grão inteiro de trigo demonstraram a mesma tendência observada para viscosidade máxima e mínima, em que a viscosidade diminuiu de acordo com o aumento do tamanho de partícula. Além das influências regidas pela variação de composição e mecanismos de interação com a variação do tamanho de partícula, a presença do farelo em maior tamanho de partícula pode interferir fisicamente na absorção de água pelos grânulos de amido, causando seu rompimento antes que estejam totalmente intumescidos.

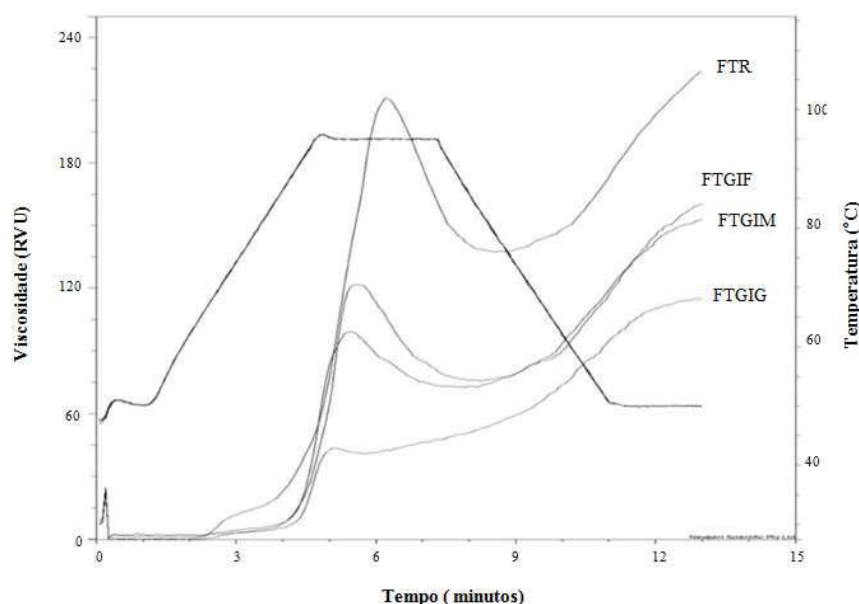
A viscosidade final é atingida durante o processo de resfriamento da amostra e é geralmente relacionada com a retrogradação (RAGAE; ABDEL-AAL, 2006). Durante esta fase, as amostras de farinha com tamanhos de partícula intermediários (FTGIF e FTGIM) apresentaram medidas de viscosidade significativamente menores que a FTR e maiores que a FTGIG, indicando a redução observada na tendência a retrogradação.

Nas FTGI, a água foi absorvida pelas fibras e tornou-se menos disponível para retrogradar. Entretanto, a absorção de água pelas fibras influencia diretamente na qualidade

do produto final (Figura 13a, b, c), produzindo pães de menor volume e maior firmeza, que são menos atrativos para o consumidor.

Os resultados das propriedades de pasta do amido observados neste estudo demonstraram que a maior quantidade de compostos não amido nas amostras de FTGI produzem géis de amido com menor viscosidade e menor resistência sob o aquecimento e agitação mecânica, indicando também que o tamanho de partícula da FTGI pode influenciar nos mecanismos de interação entres os constituintes da farinha, como variação nas taxas de absorção de água.

Figura 11-Propriedades de pasta da amostra de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.



FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ).

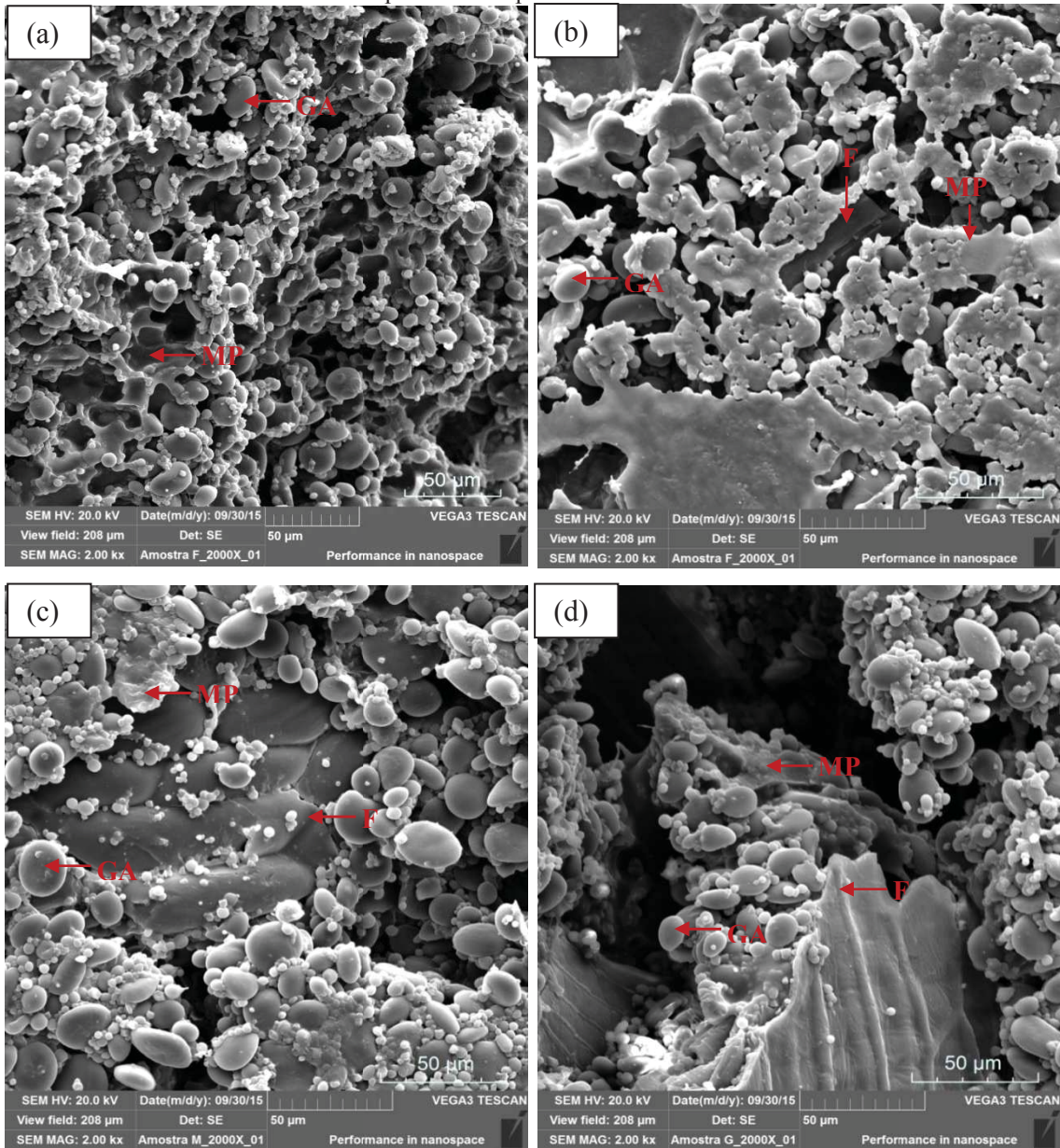
#### 4.5 PROPRIEDADES DE MICROESTRUTURA DA MASSA

A microestrutura das amostras de massa da FTR e FTGI com diferentes tamanhos de partícula analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) estão ilustradas na Figura 12 (a-d), indicando diferenças na estrutura de ambas as massas. Na massa de FTR (Figura 12 a) é possível observar a matriz de glúten mais compacta em relação às estruturas das massas elaboradas com FTGI, demonstrando estruturalmente que a presença das camadas externas do grão, independente do tamanho de partícula, altera o processo de formação da massa pela interferência na rede de glúten.

Nas massas de FTGI, a microestrutura apresenta os grânulos de amido e a matriz de glúten em grandes áreas separadas, indicando que a adesão entre o glúten e o amido foi reduzida (Figura 12 b, c e d). Nas amostras da FTGIM e FTGIG as partículas das camadas externas do grão e os grânulos de amido que não foram cobertos pela rede de glúten podem ser facilmente identificados na estrutura (Figura 12c e d). A estrutura aberta e porosa observada pode ser atribuída à maior obstrução das interações entre os grânulos de amido e matriz protéica, causada pela interação física que ocorre com a presença das camadas externas do grão em tamanhos maiores.

A FTGIF (Figura 12 b) demonstra uma estrutura com aberturas menores em relação às amostras com maior tamanho de partícula, porém com a mesma falta de conectividade entre o amido e a matriz de glúten. Este comportamento indica que além do efeito físico, em menor proporção, as camadas externas do grão, quando em tamanhos de partícula muito pequenos, podem interagir com o glúten através de seus constituintes por meio de mecanismos químicos. Segundo Noort et al. (2010), a maior ruptura dos componentes estruturais da parede celular do grão durante o processo de moagem proporciona maior liberação de componentes reativos, os quais podem interagir com a rede de glúten resultando em efeitos adversos sobre sua funcionalidade. Este fato foi evidenciado nos resultados de determinação de compostos fenólicos deste estudo, onde a farinha de trigo de grão inteiro com menor tamanho de partícula apresentou conteúdo fenólico mais elevado.

Figura 12 – Microestrutura das amostras de massa da farinha refinada e farinhas de trigo de grão inteiro analisadas por microscopia eletrônica de varredura.



(a): Micrografia de Farinha de Trigo Refinada (82,67 µm). (b): Micrografia da Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98 µm). (c): Micrografia da Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44 µm). (d): Micrografia da Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00 µm). GA: Grânulo de Amido. MT: Matriz Proteica. F: Farelo. Aumento de 2000X.



#### 4.6 DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

Na Tabela 7 podem ser observados os resultados obtidos para compostos fenólicos e capacidade antioxidante dos extratos das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

Tabela 7- Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

Amostra	Fenólicos totais (mg GAE/100g)	Capacidade antioxidante	
		ABTS ( $\mu$ M TEAC/g)	DPPH (% Inibição)
FTR	1,69 <sup>d</sup> $\pm$ 0,04	0,45 <sup>d</sup> $\pm$ 0,03	6,48 <sup>d</sup> $\pm$ 0,10
FTGIF	3,06 <sup>a</sup> $\pm$ 0,04	1,18 <sup>a</sup> $\pm$ 0,05	25,11 <sup>a</sup> $\pm$ 0,10
FTGIM	2,23 <sup>b</sup> $\pm$ 0,01	0,90 <sup>b</sup> $\pm$ 0,03	23,14 <sup>b</sup> $\pm$ 0,17
FTGIG	2,11 <sup>c</sup> $\pm$ 0,01	0,75 <sup>c</sup> $\pm$ 0,06	22,69 <sup>c</sup> $\pm$ 0,26

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu$ m). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu$ m). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu$ m). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu$ m).

O conteúdo de fenólicos totais variaram entre 1,69 e 3,06 mg EAG/100g para as amostras de FTR e FTGI respectivamente, evidenciando a maior concentração destes compostos nas camadas externas do grão e no gérmen, as quais são removidas durante a moagem para obtenção da FTR. Entre as FTGI, o tamanho de partícula afetou consideravelmente o conteúdo de compostos fenólicos totais, a farinha de menor tamanho de partícula (FTGIF) apresentou conteúdo fenólico mais elevado. Os compostos fenólicos apresentam-se na forma ligada às paredes celulares do grão, durante o processo de moagem para elaboração da farinha com menor tamanho de partícula, a maior ruptura dos componentes estruturais do grão, facilitam sua liberação.

Quantificar os compostos fenólicos pode auxiliar no entendimento do comportamento das farinhas em relação às propriedades de massa e panificação, uma vez que eles são considerados como agentes redutores de ocorrência natural. Vários compostos fenólicos como cafeico, ferúlico, fumárico e maleico, têm sido relatados por afetar negativamente as propriedades funcionais de massa, resultando numa redução do tempo de desenvolvimento e tolerância a mistura (HAN e KOH, 2011, JACKSON e HOSENEY, 1986 e KERR et al., 1993 ). Comparativamente, os resultados desse estudo demonstraram que a farinha de grão

inteiro com maior conteúdo de compostos fenólicos, apresentou o menor tempo de desenvolvimento da massa (7,60 min) e menor índice de tolerância a mistura (50 UF).

Os resultados de capacidade antioxidante apresentaram aumento de 0,75 a 1,18  $\mu\text{M}$  TEAC/g e 22,69% a 25,11% nos ensaios de ABTS e DPPH respectivamente, com a redução do tamanho de partícula das farinhas de 830,00 para 194,98  $\mu\text{m}$ . Eles mostram que a capacidade antioxidante das amostras de farinha de grão inteiro de trigo possui correlação negativa com o tamanho de partícula nos dois métodos utilizados (coeficiente de correlação de Pearson = ABTS - 0,99 e DPPH - 0,98), indicando que a redução do tamanho de partícula aumenta a capacidade antioxidante devido a maior liberação dos compostos fenólicos presentes nas camadas externas do grão. Apesar de presentes em baixas quantidades, os compostos fenólicos são citados como os principais contribuintes antioxidantes do grão de trigo (LIU, 2007; ROSA et al. 2013 e LUTHRIA; LU JOHN, 2015). Essa relação é confirmada nesse estudo, onde o aumento no conteúdo de compostos fenólicos afetou positivamente a capacidade antioxidante (coeficiente de correlação de Pearson = ABTS 0,975 e DPPH 0,998).

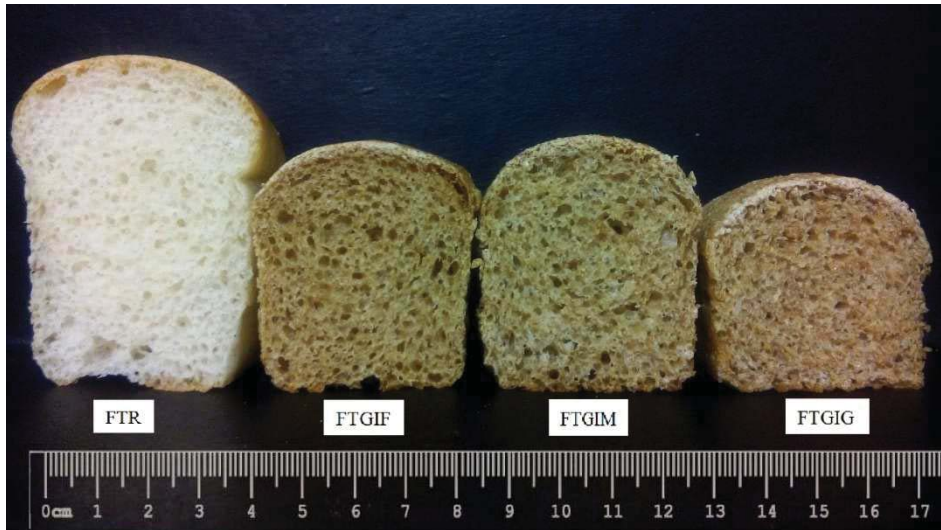
Em resumo, a determinação dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante das amostras deste estudo, demonstra a influência que o tamanho de partícula pode proporcionar, tanto nas características tecnológicas, devido à ação redutora, como nas propriedades funcionais, devido o poder antioxidante das farinhas de grão inteiro de trigo.

#### **4.7 PROPRIEDADES DE PANIFICAÇÃO**

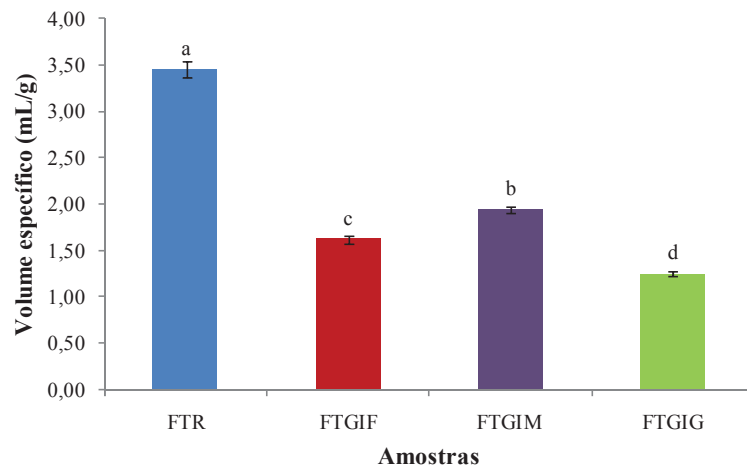
Os pães elaborados com as amostras de FTR e FTGI de diferentes tamanhos de partícula foram avaliados em relação a suas características de volume específico, firmeza e cor. As imagens representativas dos pães de cada amostra, volume específico e firmeza estão apresentadas na Figura 13 a, b e c.

Figura 13- Avaliação do volume específico dos pães elaborados com as amostras de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

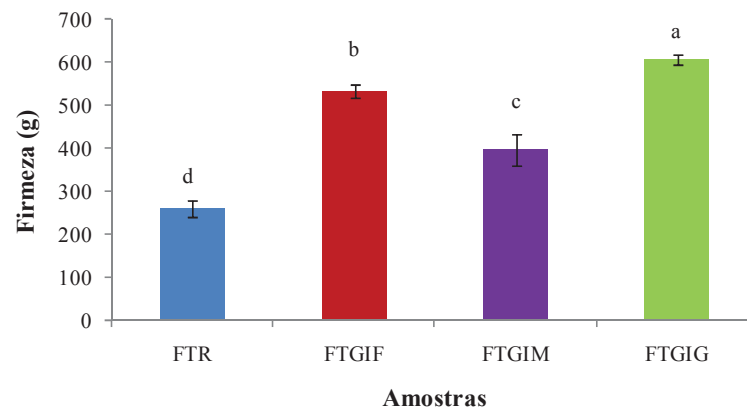
(a)



(b)



(c)



(a): Pães. (b): Volume específico. (c): Firmeza. Resultados expressos como média de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu$ m). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu$ m). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu$ m). FTGIG: Farinha de Trigo Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu$ m).

O volume específico do pão é um fator dependente da expansão da massa durante o processo de fermentação e cozimento, reflete a capacidade da massa em estabilizar o gás produzido na fermentação. Neste estudo, o volume específico foi utilizado para avaliar a possível interferência dos diferentes tamanhos de partícula das farinhas de grão inteiro de trigo na expansão dos pães. Os resultados demonstrados na Figura 13 a e b indicam que o volume diminuiu significativamente ( $p < 0,05$ ) nas farinhas de grão inteiro, obtendo valores entre 3,44 e 1,25 mL g<sup>-1</sup> para pães de FTR e FTGIG, respectivamente. Este resultado é devido aos efeitos que as camadas externas do grão presentes na farinha proporcionam na rede de glúten (GAN et al., 1989 e NOORT et al., 2010).

Os tamanhos de partícula das FTGI apresentaram comportamento diferenciado em relação ao volume específico dos pães. As FTGIG e FTGIF afetaram em maior proporção o volume em relação à FTGIM. O desempenho na panificação relacionado ao tamanho de partícula ainda é uma questão controversa e na maioria dos estudos faz referência ao tamanho de partícula do farelo. Alguns estudos indicam que o menor tamanho de partícula do farelo permite melhor desempenho (LAI et al., 1989; MODER et al., 1984), enquanto que outros revelam que o tamanho de partícula menor tem efeito prejudicial sobre a qualidade do pão (ZHANG e MOORE, 1999 e NOORT et al., 2010). As divergências observadas na literatura são provavelmente devido as diferenças no intervalo de tamanho de partículas, quantidade de farelo utilizado e técnicas de panificação empregadas.

Neste estudo, os tamanhos de partícula das farinhas utilizadas demonstraram que os efeitos na formação e nas propriedades da rede de glúten podem envolver mecanismos diferenciados de ação. Partículas mais grosseiras, como as representadas pela FTGIG (830,00  $\mu\text{m}$ ), possuem maior impacto sobre a rede de glúten devido à ação de impedimento estérico causado pelas fibras durante o desenvolvimento da massa. Além disso, podem desestabilizar as células de gás, resultando na redução do volume dos pães (POMERANZ et al., 1977 e GAN et al., 1992). Já a redução do volume observada na farinha com menor tamanho de partícula FTGIF (194,98  $\mu\text{m}$ ) em relação à farinha com tamanho médio de partícula FTGIM (608,44  $\mu\text{m}$ ), sugere que os efeitos envolvidos estão relacionados com o aumento da superfície de contato, através de interações físicas e químicas, conforme proposto por Noort et al. (2010). Partículas com maior superfície de contato proporcionam maiores interações entre os compostos fitoquímicos, em especial os monômeros de ácido ferúlico ligados ao material da parede celular das camadas externas do grão, que podem ser capazes de reagir com as proteínas do glúten, alterando a funcionalidade da massa. Além da superfície de contato, maiores interações com as proteínas do glúten também são atribuídas ao aumento na

quantidade de compostos fitoquímicos reativos, que são liberados durante o processo de moagem devido à ruptura celular das camadas externas, em especial a camada de aleurona.

O volume específico dos pães revelou estreita correlação com o parâmetro de resistência à extensão da massa (coeficiente de correlação de Pearson = 0,91), indicando concordância com a hipótese de que o efeito negativo das camadas externas do grão no volume do pão é mediada pela qualidade do glúten, que na presença das camadas externas torna-se mais duro e menos extensível, proporcionando menor capacidade da massa em reter o gás (WANG et al., 2003).

Neste estudo, a hipótese de interação química entre compostos fitoquímicos e as proteínas do glúten, levantada para o efeito redutor do volume do pão na FTGIF, também pode ser fundamentada pelo maior valor de compostos fenólicos encontrado (3,06 mg EAG/100g) em comparação com a FTGIM (2,23 mg EAG/100g) e FTGIG (2,11 mg EAG/100g).

O efeito observado de redução no volume específico do pão quando o tamanho de partícula é menor, indica que estratégias de redução de tamanho de partícula da farinha, muitas vezes mencionadas como forma de minimizar os efeitos adversos das camadas externas do grão, podem não ser a melhor opção para a produção de pães, considerando os mecanismos químicos de interação entre os compostos reativos presentes na parede celular do grão com as proteínas do glúten. No entanto, do ponto de vista nutricional, as partículas menores podem ajudar na liberação dos compostos com ação bioativa das camadas externas, como os compostos fenólicos, que agem como antioxidantes. Entre os tamanhos de partícula estudados, o tamanho médio de partícula (608,44  $\mu\text{m}$ ) pode ser considerado de menor impacto entre as farinhas de grão inteiro de trigo.

Como ilustrado na Figura 13 c, os pães das farinhas de grão inteiro apresentaram firmeza significativamente superior ( $p < 0,05$ ) em relação à FTR, apresentando valores entre 258,79g e 606,44 g para pães de FTR e FTGIG respectivamente. Para as farinhas de grão inteiro, o maior tamanho de partícula apresentou a maior dureza nos pães (606,44 g). No entanto, aumento de firmeza foi observado quando o tamanho de partícula foi reduzido de média para fina. O valor de firmeza do pão elaborado com a farinha de 194,98  $\mu\text{m}$  foi significativamente mais elevado (533,64 g) do que o elaborado com a farinha de 608,44  $\mu\text{m}$  (397,49 g).

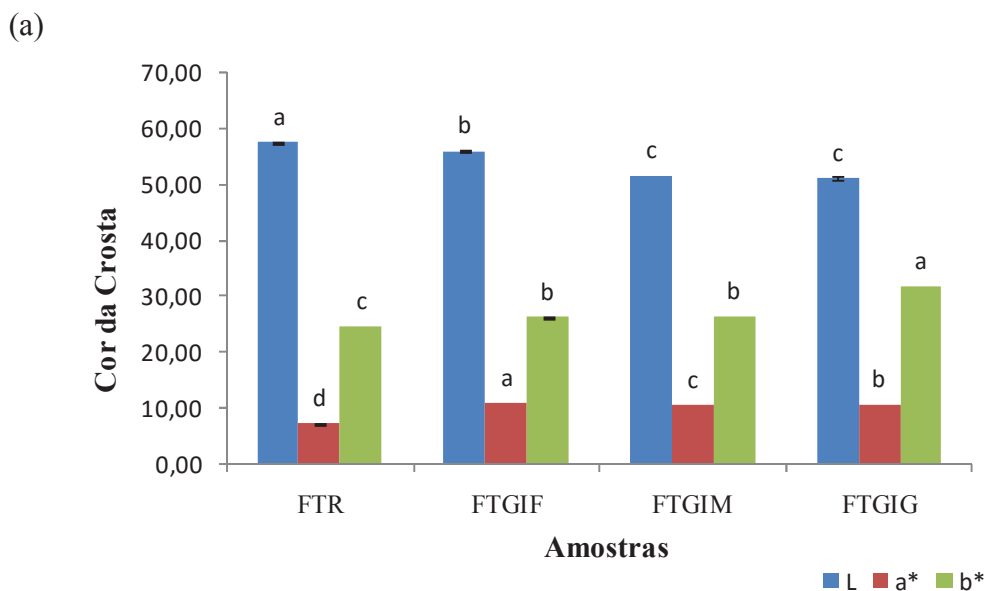
O aumento da firmeza nos pães elaborados com farinha de grão inteiro de trigo tem sido atribuído ao efeito de enfraquecimento do glúten, que dificulta a retenção de gás, resultando em menor volume de pão (MANDALA et al., 2009, MEYER e PETERS, 2009 e

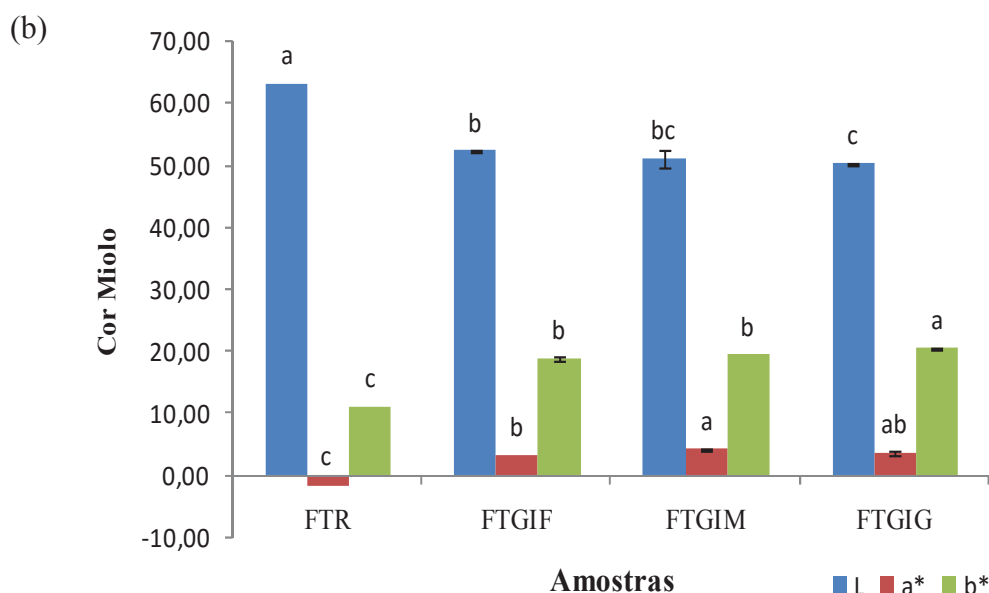
MORRIS; MORRIS, 2012). Isto está de acordo com os presentes resultados, que mostraram que o aumento da dureza do miolo foi inversamente correlacionado com o volume específico dos pães (coeficiente de correlação de Pearson = - 0,95), indicando que os pães com maior dureza foram também os de menor volume específico.

A firmeza dos pães pode também ser associada com as propriedades do amido fornecidas pela análise de pasta das farinhas, onde o aumento da viscosidade máxima parâmetro que fornece uma indicação da carga viscosa susceptível pode resultar em texturas mais suaves. A diminuição do parâmetro de viscosidade nas amostras de farinha de grão inteiro neste estudo (Figura 11) auxilia no entendimento do aumento no valor de firmeza dos pães.

Na Figura 14a e b são apresentados os resultados dos parâmetros de cor da crosta e do miolo dos pães elaborados de farinha de trigo refinada e farinha de grão inteiro de trigo com diferentes tamanhos de partícula.

Figura 14 - Cor da crosta e do miolo de pães elaborados com amostra de farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.





(a) Cor da Crosta. (b) Cor Miolo. Resultados expressos como média de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ).

A cor da crosta e miolo dos pães elaborados a partir de FTGI diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) em relação à FTR, a presença das camadas externas do grão proporciona maior quantidade de pigmentos às farinhas de grão inteiro, aumentando assim o valor das coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$  e diminuindo os valores de luminosidade  $L^*$ .

Entre as FTGI o tamanho de partícula apresentou comportamento diferenciado nos parâmetros de cor. Na avaliação da crosta, a FTGIF apresentou à luminosidade ( $L^*$ ) mais próxima (55,82) da FTR (57,30), cromaticidade  $a^*$ , que compreende a variação das cores verde e vermelha, foi mais elevada para FTGIF (10,82) seguida da FTGIG (10,50) e FTGIM (10,29) e cromaticidade  $b^*$ , que representa a tendência ao amarelo aumentou na ordem da redução da luminosidade ( $L^*$ ). No miolo, a luminosidade ( $L^*$ ) da FTGIF (52,19) e FTGIM (51,04) não diferiram entre si e foram as mais próximas da FTR (63,04). As mudanças no parâmetro  $a^*$  não foram tão acentuadas no miolo como na crosta e as diferenças não foram significativas em todos os casos. Luminosidade ( $L^*$ ) apresentou mesma tendência observada na crosta.

As diferenças entre as amostras de pão em termos de cor de miolo e crosta evidenciam que o tamanho de partícula influencia nos componentes da farinha, tais como cinzas, proteínas, pigmentos e teor de amido danificado (POSNER, 2009) que, por sua vez, influenciam nas reações químicas envolvidas durante o processo de cozimento como a reação

de Maillard e a formação de compostos de cor escura nos pães. Comportamento semelhante foi observado por Hidalgo, Fongaro, e Brabdolini (2014) estudando a influência da granulometria da farinha na concepção das cores.

#### **4.8 GRUPOS SULFIDRILAS LIVRES (S-H)**

Em uma segunda parte deste estudo, a hipótese do enfraquecimento da rede de glúten das amostras de FTGI foi investigada pela quantificação dos grupos sulfidril (S-H) livre.

A determinação de grupos -SH livres de glúten foi realizada após períodos de incubação a duas diferentes temperaturas (30 e 37 °C) que foram selecionados com base em condições normalizadas prescritas para a maioria das medições reológicas (30 °C), bem como com base nas condições favoráveis para a atividade das enzimas proteolíticas potencialmente presentes (37 °C) (PEREZ et al., 2005 ). Os tempos de incubação de 45, 90 e 135 min corresponderam às condições de funcionamento previstas para medir as propriedades de extensibilidade da massa determinado pela análise de extensografia.

A variação no teor de -SH livre de glúten úmido em relação ao tamanho de partícula, temperatura e tempo de incubação é apresentada na Tabela 8.



Tabela 8- Conteúdo de -SH livre das amostras de glúten da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.

Amostra	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Sulfidrila livre (μmol/g)
FTR	30	45	0,065 <sup>n</sup> ± 0,008
FTR	30	90	0,150 <sup>kj</sup> ± 0,005
FTR	30	135	0,234 <sup>gf</sup> ± 0,008
FTR	37	45	0,184 <sup>h</sup> ± 0,002
FTR	37	90	0,254 <sup>f</sup> ± 0,010
FTR	37	135	0,278 <sup>e</sup> ± 0,014
FTGIF	30	45	0,122 <sup>l</sup> ± 0,005
FTGIF	30	90	0,137 <sup>lk</sup> ± 0,002
FTGIF	30	135	0,158 <sup>ji</sup> ± 0,007
FTGIF	37	45	0,244 <sup>gf</sup> ± 0,009
FTGIF	37	90	0,329 <sup>dc</sup> ± 0,006
FTGIF	37	135	0,400 <sup>ba</sup> ± 0,003
FTGIM	30	45	0,095 <sup>m</sup> ± 0,004
FTGIM	30	90	0,126 <sup>l</sup> ± 0,002
FTGIM	30	135	0,169 <sup>jih</sup> ± 0,005
FTGIM	37	45	0,224 <sup>g</sup> ± 0,003
FTGIM	37	90	0,324 <sup>d</sup> ± 0,006
FTGIM	37	135	0,350 <sup>c</sup> ± 0,006
FTGIG	30	45	0,156 <sup>hj</sup> ± 0,006
FTGIG	30	90	0,178 <sup>ih</sup> ± 0,002
FTGIG	30	135	0,233 <sup>if</sup> ± 0,001
FTGIG	37	45	0,284 <sup>e</sup> ± 0,009
FTGIG	37	90	0,383 <sup>b</sup> ± 0,002
FTGIG	37	135	0,400 <sup>a</sup> ± 0,002

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67 μm). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98 μm). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44 μm). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00 μm).

O teor de -SH livre das amostras testadas apresentou-se no intervalo de 0,065 μmol/g a 0,400 μmol/g, diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) no conteúdo de S-H foram obtidas entre as

amostras incubadas em ambas as temperaturas (30 e 37°C) durante cada período de incubação. No entanto, as alterações no teor de -SH foram maiores nas amostras de FTGIF e FTGIG, na maioria dos tempos de incubação e temperaturas utilizadas.

O prolongamento do tempo de incubação nas temperaturas examinadas causou o aumento do teor de -SH livre, estando de acordo com os resultados de Pérez et al. (2005), que investigou a degradação do glúten da farinha de trigo. Após 90 minutos de incubação a 30°C, um ligeiro aumento no teor de -SH foi observado em relação à amostra de 45 minutos. No entanto, a extensão do tempo de incubação de 135 minutos resultou em número significativamente maior de grupos -SH livres ( $p < 0,05$ ) para todas as amostras (Figura 15).

A elevação da temperatura de incubação (37°C) influenciou o aumento do teor de grupos -SH livres do glúten em relação à incubação realizada em 30°C (Figura 15). Esses resultados indicam que a maior temperatura de incubação pode promover o processo de hidrólise enzimática e divisão da estrutura do glúten, levando ao aumento correspondente no valor de -SH livre. A temperatura de 37 °C corresponde às condições ideais para a degradação hidrolítica da enzima (PEREZ et al., 2005).

Os tamanhos de partícula das FTGI utilizadas neste estudo comprovam através do conteúdo de -SH livres que os efeitos provocados na funcionalidade do glúten podem ocorrer por mecanismos diferenciados de ação, conforme discutido nos resultados de propriedades de massa e panificação.

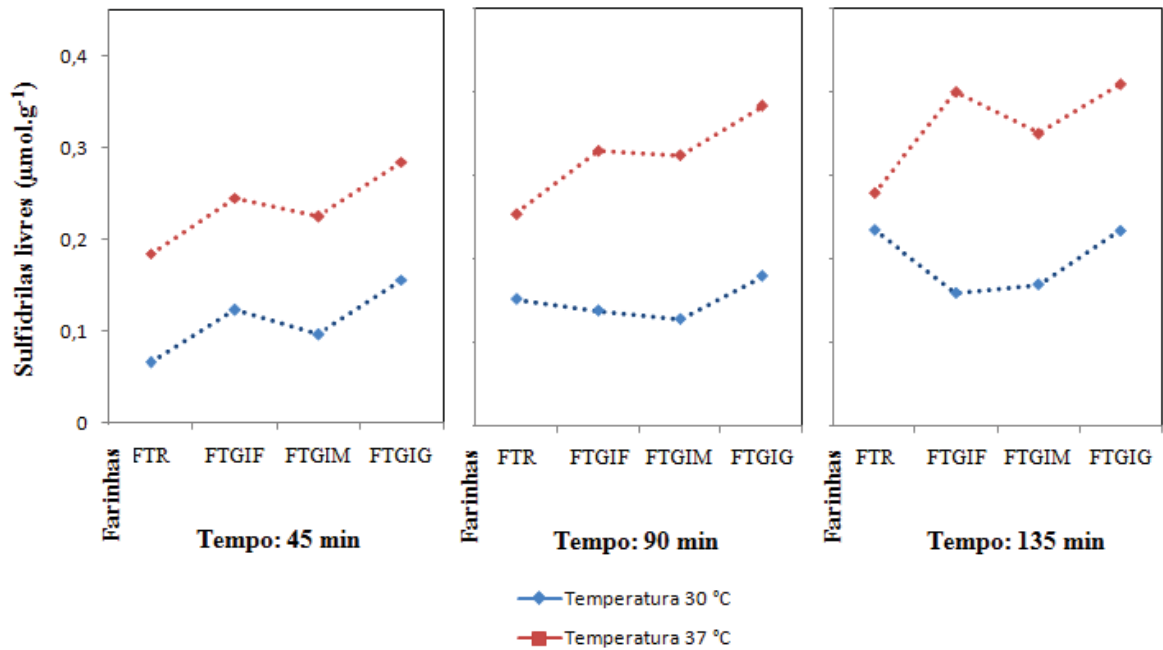
Na FTGIG (830,00  $\mu\text{m}$ ), maior conteúdo de -SH livre foi observado nas diferentes temperaturas e tempos de incubação analisadas, seguida pela FTGIF e FTGIM. Esses resultados indicam maior despolimerização do glúten, processo que resulta no enfraquecimento da massa e alterações na panificação. Os resultados da determinação do conteúdo de -SH livre estão, por conseguinte, em concordância com os resultados das propriedades reológicas e de panificação observadas nesse estudo, nas quais a FTGIG com maior conteúdo de -SH livre foi também a de menor estabilidade, menor resistência a extensão e menor volume de panificação, evidenciando rede de glúten mais fraca.

Na FTGIF (194,98  $\mu\text{m}$ ), o maior enfraquecimento do glúten, observado pelo maior conteúdo de S-H livre em relação à FTGIM (608,44  $\mu\text{m}$ ) demonstra que o aumento na superfície de contato pode promover maiores interações entre os compostos reativos presentes nas camadas externas do grão com as proteínas do glúten, conforme proposto por Noort et al. (2010). O menor tamanho de partícula aumenta a quantidade de compostos fitoquímicos reativos, que são liberados durante o processo de moagem devido à ruptura celular das camadas externas, em especial a camada de aleurona, conforme evidenciado pela

determinação de compostos fenólicos deste estudo, onde a FTGI com menor tamanho de partícula apresentou conteúdo fenólico mais elevado.

Os resultados do conteúdo de -SH livre das amostras de FTGI, somados aos efeitos observados nas propriedades reológicas e de panificação indicam que o tamanho de partícula pode influenciar nas propriedades da rede de glúten por diferentes mecanismos de ação.

Figura 15 - Conteúdo de S-H livre das amostras de glúten da farinha de trigo refinada e farinhas de trigo de grão inteiro.



Resultados expressos como média de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTR: Farinha de Trigo Refinada (82,67  $\mu\text{m}$ ). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina (194,98  $\mu\text{m}$ ). FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média (608,44  $\mu\text{m}$ ). FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa (830,00  $\mu\text{m}$ ).



## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo suportam a afirmativa de que o tamanho de partícula influencia na funcionalidade da FTGI. Também foi possível verificar que grande parte dos efeitos provocados pelo tamanho de partícula nas propriedades de massa e panificação são relacionados com a qualidade da rede de glúten. A combinação entre as características físico-químicas, propriedades de massa, microestrutura e panificação mostram fortes indicativos que os efeitos na formação e nas propriedades da rede de glúten ocorrem por uma combinação de mecanismos físicos e químicos, os quais podem agir de forma diferenciada dependendo do tamanho de partícula.

Partículas mais grossas, como as representadas pela FGIG (830,00  $\mu\text{m}$ ), possuem maior impacto sobre a rede de glúten devido à ação de impedimento estérico causada pelas fibras durante o desenvolvimento da massa. E esses efeitos são demonstrados nos resultados das propriedades de massa e de panificação, nas quais a FTGIG apresenta a menor estabilidade, menor resistência a extensão e menor volume de panificação.

O aumento dos efeitos adversos na FTGIF (194,98  $\mu\text{m}$ ) em relação à FTGIM (608,44  $\mu\text{m}$ ) sugere que a maior superfície de contato proporciona combinação de mecanismos físicos e químicos agindo sobre a formação e funcionalidade da rede de glúten na presença das camadas externas do grão. O menor tamanho de partícula aumenta a quantidade de compostos fitoquímicos reativos, que são liberados durante o processo de moagem devido à maior ruptura celular das camadas externas, conforme evidenciado pela determinação de compostos fenólicos deste estudo, onde a FTGI com menor tamanho de partícula apresentou conteúdo fenólico mais elevado.

O efeito observado de redução no volume específico do pão quando o tamanho de partícula é menor, indica que estratégias de redução de tamanho de partícula da farinha, muitas vezes mencionadas como forma de minimizar os efeitos adversos das camadas externas do grão, podem não ser a melhor opção para a produção de pães, considerando os mecanismos químicos de interação entre os compostos reativos presentes na parede celular do grão com as proteínas do glúten. No entanto, do ponto de vista nutricional, as partículas menores podem ajudar na liberação dos compostos com ação bioativa das camadas externas, como os compostos fenólicos, que agem como antioxidantes. Entre os tamanhos de partícula estudados, o tamanho médio de partícula (608,44  $\mu\text{m}$ ) pode ser considerado de menor impacto entre as farinhas de grão inteiro de trigo nas propriedades de massa e de panificação.

Este trabalho demonstra a importante relação entre o tamanho de partícula da FTGI e as propriedades de massa e de panificação. As estratégias de redução de tamanho de partícula da farinha utilizadas para minimizar os efeitos adversos das camadas externas do grão devem ser melhores investigadas para aperfeiçoar a elaboração de produtos de panificação com melhores características tecnológicas e sensoriais. No entanto, do ponto de vista nutricional, partículas menores podem ajudar na liberação dos compostos com ação bioativa que agem como antioxidantes, tornando as FTGIF um produto de alto apelo de saudabilidade para indústria de alimentos, visto que os hábitos alimentares da população estão mudando em busca de uma alimentação mais saudável.

Mais pesquisas são necessárias para identificar os componentes exatos responsáveis pelos efeitos negativos de frações de fibra sobre as propriedades de panificação. Isso pode abrir novos caminhos para o desenvolvimento de produtos com benefícios a saúde com propriedades sensoriais atraentes.

## REFERÊNCIAS

AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods of Analysis, 11<sup>a</sup>.ed., 2010. **AACC International**, St. Paul, MN, U.S.A.

AACC International. **Definition of whole grain**. Disponível em: <<http://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/pages/wholegrain.aspx>> 2008. Acesso em: 03 de maio de 2014.

AHMED, J. A.; ALMUSALLAM, A.; AL-HOOTI, S. N. Isolation and characterization of insoluble fiber (Phoenix dactylifera L.). **Food Science & Technology**, v. 50, p. 414-419, 2013.

ALMEIDA, L. J.; PAREYT, B.; GERITS, R. L.; DELCOUR, A.J. Efect of wheat grain steaming and washing on lipase activity in whole grain flour. **Cereal Chemistry**, v. 91, n. 4, p. 321-326, 2014.

AOAC International. Official Methods of Analytical of AOAC. 19th, v. 2, 2012.

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. 520-525, 2014.

BOLADE, M. K.; ADEYEMI, I. A.; OGUNSUA, A. O. Influence of particle size fractions on the physicochemical properties of maize flour and textural characteristics of a maize-based non fermented food gel. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 646-655, 2009.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, A.E. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução Normativa n. 8, de 02 de junho de 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília/DF, 3 jun. 2005.

CODA, R.; KÄRKI, I.; NORDLUND, E.; HEINIÖ, R.; POUTANEN, K.; KATINA, K. Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological functionality of wheat bran. **Food Microbiology**, v. 37, p. 69-77, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2015/2016**. 5<sup>o</sup> Levantamento. Brasília: DF, fevereiro/2016.

DASARI, R.; BERSON, R. E. The effect of particle size on hydrolysis reaction rates and rheological properties in cellulosic slurries. **Applied Bio-chemistry and Biotechnology**, v.12, p. 289-299, 2007.

- DELCOUR, J. A., JOYE, I.J., PAREYT, B., WILDERJANS, E., BRIJS, K., LAGRAN, B. Wheat Gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 3, p.469-492, 2012.
- DELCOUR, J.A., HOSENEY, R.C. **Principles of Cereal Science and Technology**, Third Edition. AACC International Inc, St. Paul, Minnesota, USA, 2010.
- DOBLADO-MALDONADO, A. F.; PIKE, A.O.; SWELEY, J.C.; DEVIN, J. Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 119-126, 2012.
- 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.
- GAN, Z.; ELLIS, P. R.; VAUGHAN, J. G.; GALLIARD, T. Some effects of non endosperm components of wheat and of added gluten on whole meal bread microstructure. **Journal of Cereal Science**, v. 10, n. 2, p. 81-91, 1989.
- GAN, Z.; GALLIARD, T.; ELLIS, P. R.; ANGOLD, R. E.; VAUGHAN, J. G. Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread. **Journal of Cereal Science**, v. 15, n. 2, p. 151-163, 1992.
- GEBRUERS, K.; DORNEZ, E.; BOROS, D.; FRAŚ, A.; DYNKOWSKA, W.; BEDO, Z.; RAKSZEGLI, M.; DELCOUR, J.A.; COURTIN, C.M. Variation in the content of dietary fiber and components thereof in wheats in the health grain diversity screen. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 9740-9749, 2008.
- HAN, H. M.; KOH, B. K. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 13, p. 2495-2499, 2011.
- HEMERY, Y. M.; ANSON, N. M.; HAVENAAR, R.; HAENEN, G. R. M. M.; NOORT, M. W. J.; ROUAU, X. Dry-fractionation of wheat bran increases the bioaccessibility of phenolic acids in breads made from processed bran fractions. **Food Research International**, v. 43, p. 1429-1438, 2010.
- HEMERY, Y.; CHAURAND, M.; HOLOPAINEN, U.; LAMPI, A., LEHTINEN, P.; PIIRONEN, V.; SADOUDI, A.; ROUAU, X. Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part I: Influence of ultra-fine grinding. **Journal of Cereal Science**, v. 53, n. 1, p. 1-8, 2011.
- HIDALGO, A.; FONGARO, L.; BRANDOLINI, A. Wheat flour granulometry determines colour perception. **Food Research International**, v. 64, p. 363-370, 2014.
- HOSENEY, R. C. **Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales**. Zaragoza: Acribia, 1991. 321p.
- IGC. International Grains Council. Disponível em <<http://www.igc.int/en/Default.aspx>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2016.



JACKSON, G.M.; HOSENEY, R.C. Effect of endogenous phenolic acids on the mixing properties of wheat flour doughs. **Journal of Cereal Science**, v. 4, n. 1, p. 79-85, 1986.

JENSEN, M. K.; KOH-BANERJEE, P.; FRANZ, M.; SAMPTON, L. Whole grains, bran, and germ in relation to homocysteine and markers of glycemic control, lipids, and inflammation. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 83, n. 2, p. 275-283, 2006.

JUNQUEIRA, R. M.; ROCHA, F.; MOREIRA, M. A.; CASTRO, I. A. Effect of proofing time and wheat flour strength on bleaching, sensory characteristics, and volume of french breads with added soybean lipoxygenase. **Cereal Chemistry**, v. 84, n. 5, p. 443-449, 2007.

KAMP, J. W. V. D. Paving the way for innovation in enhancing the intake of whole grain. **Trends in Food Science & Technology**, v. 25, p. 101-107, 2012.

KERR, C.; HOSENEY, R.; FAUBION, J. Mixograph studies. VI: Combined effects of charge (pH), activated double-bond compounds, and oxidants on dough mixing properties. **Cereal Chemistry**, v. 70, n. 6, p. 633-636, 1993.

KIHLBERG, I.; JOHANSSON, L.; KOHLER, A.; RISVIK, E. Sensory qualities of whole wheat bread and influence of farming system, milling, and baking technique. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 1, p. 67-84, 2004.

KIM, H. J.; MORITA, N.; LEE, S. H.; MOON, K. D. Scanning electron microscopic observations of dough and bread supplemented with *Gastrodia elata* Blume powder. **Food Research International**, v. 36, p. 387-397, 2003.

KUKTAITE, R. **Protein quality in wheat: Changes in protein polymer composition during grain**. Ph.D. Thesis, Development and Dough Processing Department of Crop Science, Alnarp, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden, 2004.

KUZNESOF, S.; BROWNLEE, A. I.; MOORE, C.; RICHARDSON, P.D.; JEBB, A.S.; SEAL, J.C. Whole heart study participant acceptance of wholegrain foods. **Appetite**, v. 59, p. 187-193, 2012.

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.

LÉON, A. E. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica**. Córdoba: Hugo Báez, 2007. 480p.

LEON, E.; PISTON, F.; AOUNI, R.; SHEWRY, R.P.; ROSSEL, 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.

LÉTANG, C. PIAU, M. VERDIER, C. Characterization of wheat flour–water doughs. Part I: Rheometry and microstructure. **Journal of Food Engineering**, v. 41, p.121-139, 1999.

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

LUTHRIA, L. D.; LU, Y.; JOHN, M. Bioactive phytochemicals in wheat: Extraction, analysis, processing, and functional properties. *Journal of Functional Foods*, v. 18, p. 910-925, 2015.

MANDALA, I.; POLAKI, A.; YANNIOTIS, S. Influência do armazenamento congelado no pão enriquecido com ingredientes diferentes. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 137-145, 2009.

MELLADO, M. Z. El trigo en Chile. INIA n° 121. 684 p. Instituto de investigaciones agropecuárias. Chillá, Chile, 2006.

MENSOR, L. L.; MENEZES, F. S.; LEITÃO, G. G.; REIS, A. S.; SANTOS, T. C.; COUBE, C. S.; LEITÃO, S. G. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH Free Radical Method. **Phytotherapy Research**, v.15, 127-130, 2001.

MEYER, D.; PETERS, B. Increase the nutritional value of bread with inulin. **Agro Food Industry HiTech**, v. 20, n. 3, p. 4347, 2009.

MIN, B.; BAE, I.Y.; LEE, H. G.; YOO, S.; LEE, S. Utilization of pectin-enriched materials from apple pomace as a fat replacer in a model food system. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 5414-5418, 2010.

MODER, G. J.; FINNEY, K. F.; BRUINSMA, B. L.; PONTE, J. G.; BOLTE, L. C. Bread-making potential of straight-grade and whole-wheat flours of Tri-umph and Eagleplainsman V hard red winter wheats. **Cereal Chemistry**, v. 61, p. 269-273, 1984.

MOORE, J.; LIU, J-G.; ZHOU, K.; YU, L. Effects of genotype and environment on the antioxidant properties of hard winter wheat bran. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 5313-5322, 2006.

MORRIS, C.; MORRIS, A. G. The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. **Food Chemistry**, v. 133, p. 237-248, 2012.

NIEMI, P.; FAULDS, C. B.; SIBAKOV, J.; HOLOPAINEN, U.; POUTANEN, K.; BUCHERT, J. Effect of a milling pre-treatment on the enzymatic hydrolysis of carbohydrates in brewer's spent grain. **Bioresource technology**, v. 116, p. 155-160, 2012.

NOORT, M. W. J.; HAASTER, D.V.; HEMERY, Y.; HAMER, R. J. The effect of particle size of wheat bran fractions on Bread quality e Evidence for fibre-protein interactions. **Journal of Cereal Science**, v. 52, n. 2, p. 59-54, 2010.

OKARTER, N.; LIU, C. S.; SORRELLS, M. E.; LIU, R. H. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat. **Food Chemistry**, v. 119, p.249-257. 2010.

ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

PENELLA, S.; LAPARRA, J.; SANZ, J.M.; HAROS, Y. M. Influence of added enzymes and bran particle size on bread quality and iron availability. **Cereal Chemistry**, v. 89, p. 223-229, 2012.

PÉREZ, G.; BONET, A.; ROSSEL, C. M. Relationship between gluten degradation by *Aelia* spp and *Eurygaster* spp and protein structure. **Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 1125-1130, 2005.

POMERANZ, Y.; SHOGREN, M. D.; FINNEY, K. F.; BECHTEL, D. B. Fiber in breadmaking – Effects on functional properties. **Cereal Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 25-41, 1977.

POSNER, E. S. **Wheat flour milling**. Wheat chemistry and technology (4th Ed.), AACC International, St Paul, MN, USA, 2009, p. 119-152.

POSNER, E.S.; HIBBS, A.N. **Wheat Flour Milling**. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, 2005.

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

PRADO, A.C.P.; ARAGÃO, A.M.; FETT, R.; BLOCK, J.M. Antioxidant properties of Pecan nut *Carya illinensis* (Wangenh.) C. Koch Shell Infusion. *Grasas y Aceites* v. 60, n. 4, p. 330-335, 2009.

RAGAEI, S.; ABDEL-AAL, EL-S. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95, p. 9-18, 2006.

RAKITA, S.; POJIC, M.; TOMIC, J.; TORBICA, A. Determination of free sulphydryl groups in wheat gluten under the influence of different time and temperature of incubation: Method validation. **Food Chemistry**, v. 150, p. 163-176, 2014.

ROSA, N. N.; BARRON, C.; GAIANI, C.; DUFOUR, C.; MICARD, V. Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n 1 p. 84-90, 2013.

ROSELL, C. M.; ROJAS, J. A.; BARBER, C. B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 1, p. 75-81, 2001.

ROSELL, C. M.; SANTOS, E.; COLLAR, C. Mixing properties of fibre enriched wheat bread doughs: a response surface methodology study. **European Food Research and Technology**, v. 223, p. 333-340, 2006.

SANZ PENELLA, J. M.; COLLAR, C.; HAROS, M. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 715-721, 2008.

SAULNIER, L.; SADO, P. E.; BRANLARD, G.; GHARMET, G.; GUILLON, F. Wheat arabinoxylans: Exploiting variation in amount and composition to develop enhanced varieties. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 261-281, 2007.

SCHIMIELE, M.; JAEKEL, L. Z.; PATRICIO, S. M. C.; STEEL, C. J.; CHANG, Y. K. Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 2141-2150, 2012.

SIBAKOV, N.R.; POUTANEN, K.; MICARD, V. How does wheat grain, bran and aleurone structure impact their nutritional and technological properties?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 41, p. 118-134, 2014.

SILVA, G. G. D.; COUTURIER, M.; BERRIN, J.; BULÉON, A.; & ROUAU, X. Effects of grinding processes on enzymatic degradation of wheat straw. **Bioresource technology**, v. 103, p. 192-200, 2012.

SING, H.; MACRITCHIE, F. Application of polymer science to properties of gluten. **Journal of Cereal Science**, v.33, n.3, p. 231-243, 2001.

SINGH, S.; SINGH, N.; MACRITCHIE, F. Relationship of polymeric proteins with pasting, gel dynamic- and dough empirical-rheology in different Indian wheat varieties. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 19-24, 2011.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. **Method in Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999.

SLAVIN J.; JACOBS D.; MARQUART L. Whole-grain consumption and chronic disease: protective mechanisms. **Nutrition and Cancer**, v. 27, n.1, p. 14-21, 1997.

SLAVIN, J. Why whole grains are protective: biological mechanisms. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.62, n.1, p. 129-134, 2003.

WANG, L.; YAO, Y.; HE, Z.; WANG, D.; LIU, A.; ZHANG, Y. Determination of phenolic acid concentrations in wheat flours produced at different extraction rates. **Journal of Cereal Science**, v. 57, p. 67-69, 2013.

WANG, P.; CHEN, H.; MOHANAD, B.; XU, L.; NING, Y.; XU, J.; WU, F.; YANG, N.; JIN, Z.; XU, X. Effect of frozen storage on physico-chemistry of wheat gluten proteins: Studies on gluten-, glutenin- and gliadin-rich fractions. **Food Hydrocolloids**, v. 39, p. 187-194, 2014.

WANG, R.; ZHOU, W.B. Stability of tea catechins in the breadmaking process. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 26, p. 8224-8229, 2003.

WEAVER, G. L. A miller's perspective on the impact of health claims. **Nutrition Today**, v. 36, p. 115-118, 2001.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, v. 24, p. 115-119, 2007.

WHOLE GRAINS COUNCIL. What is a whole grain? Disponível em: <<http://wholegrainscouncil.org/>>. Acesso em : 29 julho de 2014.

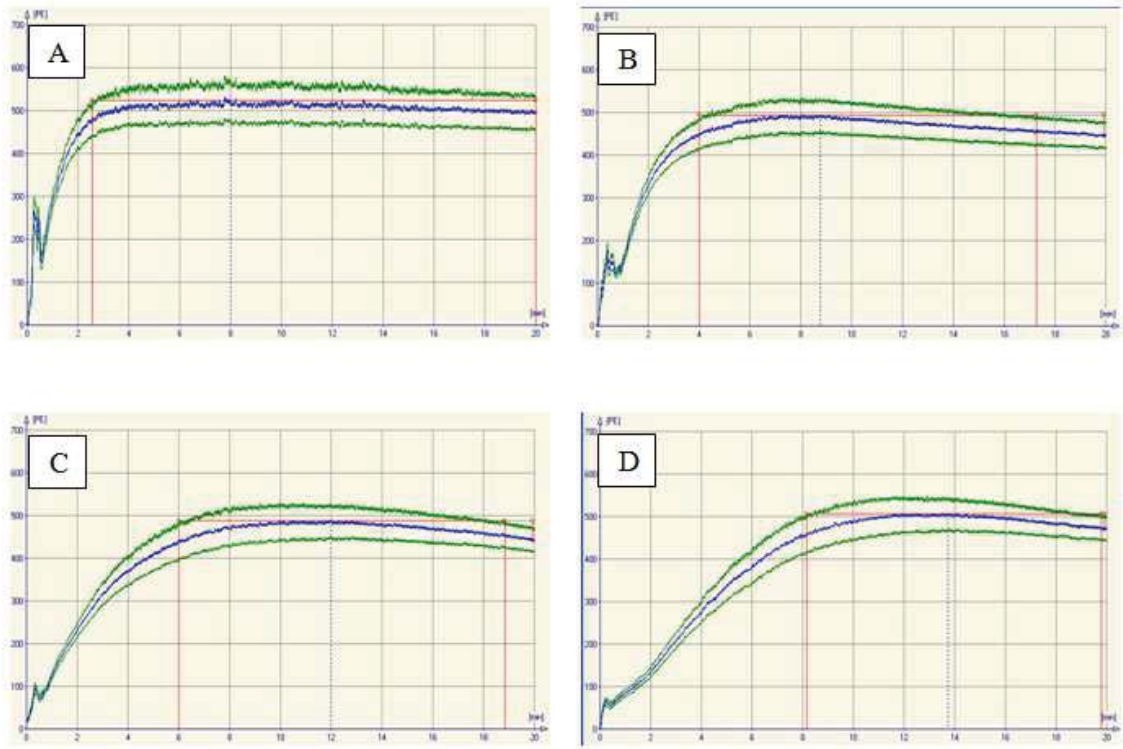
ZAIDUL, M. I.; KARIM, A. A.; ARIFFIN, A.; NORULAINI, N. N.; OMAR, M. A. A farinograph study on the viscoelastic properties of sago/wheat flour dough systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 616-622, 2004.

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.

ZIEGLER, E., GREER, E.N., 1971. **Wheat flour milling**. In: Pomeranz Y. (Ed.), *Wheat Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists: St. Paul, 1971, 134-143 p.



## APÊNDICE A – Curvas farinográficas



A: Curva Farinográfica de Farinha Refinada. B: Curva Farinográfica da Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina. B: Curva Farinográfica da Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média. B: Curva Farinográfica da Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa.