

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos**



Tese

**Farinha de trigo integral: relação entre propriedades de hidratação e qualidade  
de biscoitos tipo *cookie***

**Joseane Bressiani**

Química

Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Pelotas, 2019

**Joseane Bressiani**

**Farinha de trigo integral: relação entre propriedades de hidratação e qualidade de biscoitos tipo cookie**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Comitê de orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marcia Arocha Gularte - UFPel  
Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski - UPF  
Dr.<sup>a</sup> Martha Zavariz de Miranda – Embrapa Trigo

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

B843f Bressiani, Joseane

Farinha de trigo integral: relação entre propriedades de hidratação e qualidade de biscoitos tipo cookie / Joseane Bressiani ; Marcia Arocha Gularte, orientadora ; Luiz Carlos Gutkoski, Martha Zavariz de Miranda, coorientadores. — Pelotas, 2019.

122 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. *Triticum aestivum*. 2. Farinha integral de trigo. 3. Hidratação. 4. Granulometria. 5. Biscoitos. I. Gularte, Marcia Arocha, orient. II. Gutkoski, Luiz Carlos, coorient. III. Miranda, Martha Zavariz de, coorient. IV. Título.

CDD : 664

**Joseane Bressiani**

**Farinha de trigo integral: relação entre propriedades de hidratação e qualidade de biscoitos tipo cookie**

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas

Data da Defesa: 20.11.2019

Banca examinadora:

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcia Arocha Gularte (Orientador)

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elessandra da Rosa Zavareze

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosana Colussi

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

.....  
Dr<sup>a</sup>. Bárbara Biduski

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

.....  
Dr<sup>a</sup>. Dianini Kringel

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

## Agradecimentos

À Deus, por sua forte presença em minha vida, guiando e abençoando minhas escolhas e caminhos.

À minha família. Cristiano, meu marido, 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. Aos meus sogros (Cleudes e Ivo), por todo apoio fornecido, suprimo minhas ausências junto a minha filha e permitindo que me dedicasse ao doutorado.

À minha querida orientadora Dr<sup>a</sup> Marcia Arocha Gularte, pela confiança, respeito, oportunidade concedida, obrigada Professora pela sua orientação e compreensão em todos os momentos.

Ao professor Dr. Luiz Carlos Gutkoski pelos inúmeros direcionamentos, orientações e oportunidades.

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

As colegas do laboratório de Cereais da Universidade de Passo Fundo, em especial Dr<sup>a</sup>. Tatiana Oro e Tânia Santetti, pela amizade, convivência, estímulo e valiosas orientações em todos os momentos.

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 todos os professores do Programa de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas.

Agradeço!

## Resumo

Bressiani, Joseane. **Farinha de trigo integral: Relação entre propriedades de hidratação e qualidade de biscoitos tipo *cookie***. 2019. 122f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

O crescente interesse em produtos de grãos inteiros por parte dos consumidores vem direcionando o desenvolvimento de produtos à base de cereais integrais. Neste contexto, a farinha de trigo integral (FTI), elaborada pela moagem inteira dos grãos, é escopo de pesquisa recente em todo o mundo. Os biscoitos tipo *cookie* integrais podem auxiliar atender a demanda por produtos orientados para saúde, considerando que lanches bastante populares em todo o mundo devido à sua natureza pronta para comer, fácil de armazenar e baixo custo. No entanto, a produção de biscoitos tipo *cookie* utilizando FTI está entre os processos de maior dificuldade na indústria de panificação. O aumento na capacidade de absorção da água é considerado como o maior desafio encontrado durante o processamento devido as alterações na consistência da massa. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar os efeitos do tamanho de partícula, cultivar e suas interações nas propriedades de hidratação da FTI e qualidade de biscoitos tipo *cookie*. Para tanto, as FTI de diferentes tamanhos de partículas, 194,22  $\mu\text{m}$ , 440,15  $\mu\text{m}$  e 675,12  $\mu\text{m}$ , classificadas como fina, média e grossa respectivamente, foram elaboradas a partir das cultivares de trigo ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência destinadas à produção de biscoitos. A tese foi estruturada em três capítulos (artigos), sendo dois a serem submetidos e um já publicado. O comportamento de hidratação das farinhas foi avaliado através de duas categorias de métodos, com e sem exposição de forças externas e pela determinação de constituintes específicos da farinha, como as arabinoxilanas. Os biscoitos tipo *cookie* foram avaliados quanto as propriedades físicas e tempo de armazenamento. Os resultados mostraram que os teores de arabinoxilanas totais, que contribuíram fortemente para absorção de água, foram afetados principalmente pelo fator tamanho de partícula, aumentando em até 6,18 vezes com a redução deste, enquanto que arabinoxilanas solúveis em água demonstraram ser mais influenciadas pela cultivar. A capacidade de absorção de água por farinografia mostrou maior influência do fator tamanho de partícula com maior absorção nas farinhas de partículas finas. Em contraste, a absorção de água baseada na capacidade de intumescimento e na cinética de absorção mostrou maior absorção de água pela farinha integral de maior tamanho de partícula. Os diferentes métodos para prever a hidratação das farinhas resultaram em propriedades diferenciadas, demonstrando que a presença das camadas externas do grão na FTI promove diferentes mecanismos de capacidade de absorção de água, e estes são significativamente influenciados pelos fatores cultivar e tamanho de partícula. Para ambas as cultivares avaliadas, o teor de amido danificado, a absorção de água, a capacidade de agregação do glúten e a viscosidade máxima da FTI mostraram maior influência do fator individual tamanho de partícula, e aumentaram gradualmente com a redução no tamanho de partícula. Os resultados de cozimento dos biscoitos exibiram aumento significativo no diâmetro e no fator de espalhamento e também redução na dureza em FTI mais grossa. As cultivares apresentaram desempenho diferenciado entre os tamanhos de partícula, sendo a ORS Vintecinco a que apresentou o melhor desempenho para FTIG (675,12  $\mu\text{m}$ ). A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que o tamanho de partícula, a cultivar

de trigo e a sua interação podem influenciar significativamente as propriedades de hidratação da FTI e a qualidade dos biscoitos tipo *cookie*.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum*, farinha integral de trigo, hidratação, granulometria, biscoitos.

## Abstract

Bressiani, Joseane. **Whole wheat flour: Relationship between hydration properties and cookie quality.** 2019. 122f. Thesis (Doctoral Degree in Food Science and Technology) – Graduate Program in Food Science and Technology, Agronomy School Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, 2019.

The increasing interest in whole grain products from consumers has led to the development of products based on whole cereal. In relation to that, whole wheat flour (WWF), elaborated by the whole grain milling, is the scope of recent research worldwide. Whole wheat cookies may help to fulfill the demand for healthy oriented products, considering that snacks are popular all over the world due to ready to eat properties, easy to storage and low cost. However, cookie production using WWF represents the most difficult process in bread making industry. The growing water absorption capacity is consider the highest challenge found during the process due to dough consistence alteration. This work general objective was to evaluate the effects of particle size (PS), cultivar (C) and its interactions on hydration properties and cookie quality of WWF. So, WWF with different particle size 194.22  $\mu\text{m}$ , 440.15  $\mu\text{m}$  and 675.12  $\mu\text{m}$ , classified as fine, medium and coarse, respectively, were produced from wheat cultivars ORS Vintecinco, BRS 374 and TBIO Consistência for cookie production. The thesis was structured in three chapters (articles), two to be submitted and one already published. The flour hydration behavior was evaluated by two method categories, with and without exposure from external forces and by flour specific constituent determination, such as arabinoxylans. The cookies were evaluated as for physical properties and storage time. The results showed that the total arabinoxylan (TOT-AX) contents, which contributed strongly to water absorption, were mainly affected by the particle size factor, increasing by 6.18 times with its reduction, while water soluble arabinoxylans demonstrated to be more influenced by the cultivar. Water absorption capacity by farinography showed greater particle size factor influence with higher absorption in fine particle flours. In opposition, water absorption based on swelling capacity and absorption kinetics showed higher water absorption by whole flour with larger particle size. The different methods to predict flour hydration resulted in different properties, showing that the grain outer layers presence in WWF promotes different mechanisms of water absorption capacity, and these are significantly influenced by cultivar and particle size factors. For both cultivars evaluated, damaged starch content, water absorption, gluten aggregation capacity and maximum viscosity of WWF showed greater influence of particle size individual factor, which gradually increased with the particle size reduction. The cookie baking results exhibited significant increase in diameter and spread factor, and also hardness reduction in thicker WWF. The cultivars presented differentiated performance among the particle sizes, being the ORS Vintecinco the one that presented the best performance for GWWF (675,12  $\mu\text{m}$ ). Considering the obtained results, it was possible to conclude that particle size, wheat cultivar and its interaction can significantly influence the hydration properties of WWF and the cookie quality.

**Key words:** *Triticum aestivum*, whole wheat flour, hydratation, granulometry, cookies.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Grão de trigo e componentes anatômicos.....	19
<b>Figura 2.</b> Demonstração esquemática das partes externas do grão de trigo. ....	20
<b>Figura 3.</b> Estrutura da arabinoxilana (AX) e os locais de ataque por enzimas xilanolíticas envolvidas na sua degradação. ....	22
<b>Figura 4.</b> Comparação de nutrientes em farinhas de trigo integral, refinada e fortificada.....	25
<b>Figura 5.</b> Representação do desenvolvimento da estrutura em biscoitos durante várias etapas do cozimento, associados a transições físico-químicas. ....	29
<b>Figura 6.</b> Imagens realizadas em intervalos de tempo durante o processo cozimento de biscoitos tipo <i>cookie</i> elaborados com farinha classificada sem qualidade desejável (adequada para produção de pães) e farinha adequada para biscoitos. ....	31
<b>Figura 7.</b> Esquema de reação da conversão de um monossacarídeo (xilose) em furfural e posterior reação com floroglucinol para produzir o precipitado colorido floroglucida.....	41
<b>Figura 8.</b> Esquema do método utilizado para determinação de arabinoxilanas em FTI. ....	42
<b>Figura 9.</b> Instrumento Enslin-Neff utilizado para estudar a cinética de hidratação das amostras de farinha.....	43
<b>Figura 10.</b> Distribuição do tamanho de partícula das FTI com diferentes tamanhos de partículas e cultivares.....	45
<b>Figura 11.</b> Análise da cinética de hidratação das FTI com diferentes tamanhos de partículas e cultivares.....	57
<b>Figura 12.</b> Esquema do método utilizado para moagem e elaboração das FTI com diferentes tamanhos de partícula. ....	66
<b>Figura 13.</b> Vista superior e lateral de biscoitos tipo <i>cookie</i> da FTI de diferentes tamanhos de partícula e cultivares.....	80
<b>Figura 14.</b> Efeito do fator de expansão sobre a força de ruptura dos <i>cookies</i> de farinha de trigo integral de diferentes tamanhos de partícula e cultivares.....	81
<b>Figura 15.</b> Atividade de água dos <i>cookies</i> de FTI em função dos tamanhos de partícula e cultivares de trigo durante 30 dias de armazenamento.....	86
<b>Figura 16.</b> Representation of the milling process and production of whole grain wheat flours with different particle sizes.....	95

<b>Figura 17.</b> Particle size distribution profile of flour with different particle sizes. ....	96
<b>Figura 18.</b> Mixolab curves of refined flour and whole grain wheat flour with different particle sizes.....	104

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Principais constituintes do farelo de trigo.....	21
<b>Tabela 2.</b> Configurações utilizadas para produção das farinhas de trigo integrais com diferentes tamanhos de partículas e tamanho médio de partícula resultante. ....	39
<b>Tabela 3.</b> Amido danificado e conteúdo de arabinosilanas nas farinhas de trigo integrais (FTI) com diferentes tamanhos de partícula e cultivares. ....	47
<b>Tabela 4.</b> Propriedades de hidratação das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares. ....	54
<b>Tabela 5.</b> Análise de variância para as propriedades físico-químicas e de hidratação, das farinhas de trigo integral com diferentes tamanhos de partícula e cultivares ....	58
<b>Tabela 6.</b> Conteúdo de umidade, cinzas, proteína e lipídios de farinhas de trigo integral de diferentes tamanhos de partícula e cultivares de trigo. ....	70
<b>Tabela 7.</b> Teor de amido danificado e glúten úmido de farinhas de trigo integral de diferentes tamanhos de partícula e cultivares de trigo. ....	72
<b>Tabela 8.</b> Propriedades de mistura e propriedades de pasta das farinhas de trigo integral de diferentes tamanhos de partícula e cultivares de trigo.....	78
<b>Tabela 9.</b> Propriedades físicas dos biscoitos tipo <i>cookie</i> das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares.....	82
<b>Tabela 10.</b> Cor dos biscoitos tipo <i>cookie</i> das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares. ....	84
<b>Tabela 11.</b> Análise de variância para as propriedades da FTI e dos biscoitos tipo <i>cookie</i> com diferentes tamanhos de partícula e cultivares. ....	88
<b>Tabela 12.</b> Effect of whole milling of wheat grains and particle size on the physicochemical properties of flour .....	100
<b>Tabela 13.</b> Effect of particle size on the Mixolab parameters of refined flour and whole grain wheat flour.....	105

## Sumário

Agradecimentos .....	iv
Resumo .....	v
Abstract .....	vii
1 Introdução .....	12
2 Revisão Bibliográfica.....	15
2.1 Grãos integrais.....	15
2.2 Trigo.....	18
2.2.1 <i>Cultura e Produção</i> .....	18
2.2.2 <i>Estrutura e composição química</i> .....	18
2.3 Farinha de trigo integral .....	24
2.4 Biscoito tipo <i>cookie</i> .....	28
2.4.1 <i>Componentes da farinha de trigo e seu papel na fabricação de biscoitos</i> ....	30
2.4.2 <i>Biscoito tipo cookie de farinha de trigo integral</i> .....	33
3 Capítulo 1 – Artigo a ser submetido .....	35
Propriedades de hidratação de farinha integral de trigo destinada a produção de biscoitos: efeito do tamanho de partícula, da cultivar e sua interação .....	35
3.1 Introdução.....	37
3.2 Material e métodos .....	39
3.2.1 <i>Material</i> .....	39
3.2.2 <i>Farinha de trigo integral</i> .....	39
3.2.3 <i>Teor de amido danificado</i> .....	40
3.2.4 <i>Arabinosilanas totais (TOT-AX) e extraíveis em água (EA-AX)</i> .....	40
3.2.5 <i>Absorção de água no Farinógrafo</i> .....	42
3.2.6 <i>Capacidade de intumescimento</i> .....	42
3.2.7 <i>Capacidade de retenção de solventes</i> .....	42
3.2.8 <i>Cinética de absorção</i> .....	43
3.2.9 <i>Delineamento experimental e análise estatística</i> .....	43
3.3 Resultados e discussão .....	44
3.3.1 <i>Distribuição de tamanho de partícula e diâmetro médio de partícula</i> .....	44
3.3.2 <i>Amido danificado</i> .....	46
3.3.3 <i>Arabinosilanas totais (TOT-AX) e extraíveis com água (EA-AX)</i> .....	47
3.3.4 <i>Propriedades de hidratação</i> .....	48
<i>Capacidade de intumescimento (cm<sup>3</sup>/g)</i> .....	54

3.3.5	<i>Cinética de absorção</i> .....	55
3.3.6	<i>Efeitos do tamanho de partícula (TP), cultivar (C) e interação entre TP e C (TP x C) na composição da farinha e propriedades de hidratação</i> .....	58
3.3.7	<i>Teor de amido danificado e conteúdo de arabinoxilanas</i> .....	59
3.4	Conclusão.....	60
4	Capítulo 2 – Artigo a ser submetido.....	61
	Atributos de qualidade da farinha de trigo integral destinada a produção de biscoitos: efeito do tamanho de partícula, da cultivar e sua interação.....	61
4.1	Introdução.....	63
4.2	Material e métodos.....	65
4.2.1	<i>Material</i> .....	65
4.2.2	<i>Farinha de trigo integral</i> .....	65
4.2.3	<i>Caracterização da farinha</i> .....	66
4.2.4	<i>Elaboração dos biscoitos tipo cookie</i> .....	67
4.2.5	<i>Avaliação das características de qualidade dos biscoitos tipo cookie</i> .....	67
4.2.6	<i>Estabilidade de armazenamento</i> .....	68
4.2.7	<i>Delineamento experimental e análise estatística</i> .....	68
4.3	Resultados e discussão.....	68
4.3.1	<i>Distribuição do tamanho de partícula e diâmetro médio de partícula</i> .....	68
4.3.2	<i>Caracterização físico-química</i> .....	69
4.3.3	<i>Propriedades de mistura</i> .....	73
4.3.4	<i>Propriedades de pasta</i> .....	74
4.3.5	<i>Qualidade dos biscoitos tipo cookie</i> .....	79
4.3.6	<i>Efeitos do tamanho de partícula (TP), cultivar (C) e interação entre TP e C (TP x C) na qualidade da FTI e dos biscoitos</i> .....	87
4.4	Conclusão.....	90
5	Capítulo 3 – Artigo publicado.....	91
	Influência da moagem de grãos de trigo integral e tamanho de partícula nas propriedades termo-mecânicas da farinha usando Mixolab.....	91
5.1	Introduction.....	93
5.2	Material and Methods.....	94
5.2.1	<i>Material</i> .....	94
5.2.2	<i>Milling process for obtaining flours</i> .....	94
5.2.3	<i>Flour physicochemical analyses</i> .....	96

5.2.4	<i>Mixolab analysis</i> .....	97
5.2.5	<i>Statistical analysis</i> .....	97
5.3	Results and Discussion .....	97
5.3.1	<i>Effect of particle size on the physicochemical properties of flour</i> .....	97
5.3.2	<i>Effect of particle size on the WG Mixolab profile</i> .....	101
5.4	Conclusions .....	105
5.5	Estudos futuros .....	106
6	Considerações finais .....	107
	APÊNDICE A.....	108
	APÊNDICE B.....	109
7	Referências.....	110

## 1 Introdução

O crescente interesse em produtos de grãos inteiros por parte dos consumidores, principalmente os mais preocupados com a saúde, vem direcionando o desenvolvimento de produtos à base de cereais integrais. Neste contexto, a farinha de trigo integral (FTI) é escopo de pesquisa recente em todo o mundo. No Brasil, é comum encontrar farinha de trigo originada pela mistura de farelo à farinha refinada em diferentes proporções após a moagem e que é vendida como FTI. A carência de legislação específica para farinha integral provê a possibilidade para este tipo de comércio. Além disso, em todo o mundo, são escassas análises padronizadas para avaliação de qualidade desta farinha na forma de produto final (ORO, 2013). O presente trabalho considerou FTI a farinha moída do grão inteiro.

Na FTI os principais componentes anatômicos do grão de trigo, como endosperma, farelo e gérmen estão presentes nas mesmas proporções que existem no grão na forma intacta, o que a caracteriza como excelente fonte de ingredientes nutricionais e funcionais (WEAVER, 2001). Em contraste com seus efeitos benéficos à saúde, a FTI proporciona alterações adversas na estrutura e na qualidade dos produtos finais, influenciando a aceitabilidade dos consumidores. Além das características do produto final, a utilização da FTI também resulta em muitas alterações nas propriedades da massa e nas técnicas de processamento. Como resultado, há dificuldades na produção de alimentos de FTI que mantenham a funcionalidade e qualidade desejada.

O tamanho das partículas da FTI é um fator importante que afeta a qualidade dos produtos e a funcionalidade da farinha (KIHLBERG et al., 2004). Embora muitas pesquisas tenham investigado o efeito do tamanho das partículas na qualidade dos produtos de trigo integral, os resultados permanecem inconclusivos. A maioria dos estudos tem sido dedicada ao tamanho de partícula do farelo utilizado em diferentes níveis de reincorporação à farinha de trigo refinada sobre as propriedades das massas e qualidade dos produtos acabados, tais como pães, macarrão, bolachas e massas (NOORT et al., 2010, HEMDANE et. al., 2015, NIU et al., 2014; CAI et al., 2014, WANG et al., 2016).

A produção de biscoitos tipo *cookie* utilizando FTI está entre os processos de maior dificuldade na indústria de produtos forneados. Os *cookies* apresentam estrutura complexa, na qual cada ingrediente da formulação desempenha papel fundamental. A água, apesar de se apresentar em baixa quantidade, possui função

complexa na estrutura da massa, pois afeta a natureza das interações entre os ingredientes, modificando seu comportamento reológico. Durante o cozimento, a massa seca e produz mudanças nas interações que são regidas pela afinidade de cada componente pela água (BLANCO CANALIS, LEÓN e RIBOTTA, 2019).

Quando produtos de alta afinidade de água são utilizados na formulação, como a FTI, a água redistribui-se, gerando mudanças nas propriedades reológicas da massa. As propriedades diferenciadas de hidratação da FTI geram não apenas problemas tecnológicos durante a fabricação, mas também podem afetar a qualidade do produto acabado, como seu diâmetro, cor e textura. Nesta perspectiva, características como a diversidade no tamanho das partículas, devido à variedade de técnicas de moagem aplicadas, bem como características relacionadas a cultivares de trigo podem ser exploradas como variáveis de considerável efeito nas propriedades de hidratação da FTI.

A influência das fibras na qualidade de biscoitos foi estudada. Vratana e Zabik (1978) relataram que o farelo não afetou significativamente a textura, mas reduziu a espalhamento e escureceu a cor dos *cookies*. Gujral et al. (2003) investigando o efeito da substituição da farinha de trigo com farelo de trigo em diferentes níveis, demonstraram que o farelo aumentou a coesividade e a adesividade da massa reduzindo o fator de propagação. Sudha, Vetrmani e Leelavathi (2007) também encontraram redução no fator de espalhamento após a incorporação de farelo de cevada, arroz e trigo à farinha de trigo. Sozer et al. (2014) produziram biscoitos com 5-15% de farelo de trigo grosseiro e fino e demonstraram que a redução do tamanho de partícula de farelo aumentou a dureza do biscoito. Resultados semelhantes foram obtidos por Protonotariou et al. (2016), que investigaram se a redução no tamanho das partículas da farinha de trigo integral poderia ser considerada como processo eficaz para produzir biscoitos com altos níveis de substituição de farinha integral, observaram que a viscosidade da massa aumentou à medida que a quantidade de farinha de trigo integral micronizada aumentou, e conseqüentemente a dureza dos biscoitos aumentou.

Vários estudos sobre biscoitos enriquecidos com fibras são relatados na literatura, contudo, a maioria dos estudos foi dedicada à incorporação do farelo na formulação em diferentes níveis de concentração. No entanto, nenhum estudo foi focou a avaliação da farinha de trigo produzida pela moagem inteira dos grãos com diferentes tamanhos de partículas.

Pelo exposto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar os efeitos do tamanho de partícula, cultivar e suas interações nas propriedades de hidratação da FTI elaborada pela moagem inteira dos grãos e qualidade de biscoitos tipo *cookie*.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Grãos integrais

Grãos integrais sempre foram considerados como componentes saudáveis da alimentação devido aos nutrientes individuais e compostos bioativos que eles contêm, no entanto, a documentação sobre os benefícios para saúde além da contribuição de nutrientes associados ao consumo de grãos integrais é recente.

Numerosos estudos epidemiológicos demonstrando os benefícios para saúde associados ao consumo de grãos inteiros foram publicados nos últimos anos. Relações consistentes entre o consumo de grãos inteiros e a redução no risco de doenças crônicas foram relatadas, especificamente, o consumo de grão integrais tem sido associado a menores riscos de diabetes (FUNG et al., 2002), acidente vascular cerebral (LIU et al., 2000), obesidade (MCKEOWN et al., 2010), hipertensão (KOCHAR, GAZIANO e DJOUSSE, 2012) e certos tipos de câncer (SCHATZKIN et al., 2008).

Como resultado, organizações governamentais e promotoras da saúde recomendam a inclusão de alimentos integrais na dieta. A maioria das diretrizes sugere aumento na ingestão de grãos integrais e substituição de produtos derivados de grãos refinados (FOLLONI e RANIERI, 2012).

Historicamente são observadas variações na definição de grãos integrais. Em 1999 a American Association of Cereal Chemists (AACC) definiu que: “Os grãos inteiros devem compreender a cariopse intacta, moída, quebrada ou em flocos, cujos principais componentes anatômicos do grão, como endosperma amiláceo, gérmen e farelo estejam presentes nas mesmas proporções relativas que existem na cariopse intacta” (AACC, 1999).

Em 2004 o Whole Grains Council incluiu os alimentos processados à definição e especifica que: “São considerados grãos inteiros ou alimentos afeitos a partir destes que contêm todas as partes essenciais e nutrientes que naturalmente estão presentes no grão inteiro em suas proporções originais. Se o grão tiver sido processado (quebrado, esmagado, laminado, extrusado e/ou cozido), o produto alimentar deve proporcionar o mesmo balanço de nutrientes que o encontrado no grão original”. Esta definição significa que 100% do grão original (farelo, gérmen e endosperma) devem estar presentes para ser considerado grão integral (WHOLE GRAINS COUNCIL, 2004).

No entanto, em 2014 o projeto HealthGrain publicou a seguinte definição: “Os grãos inteiros consistem no grão intacto, moído, quebrado ou em flocos após a remoção de partes não comestíveis, como a casca. Os principais componentes anatômicos, endosperma amiláceo, gérmen e farelo estão presentes nas mesmas proporções relativas que existem no grão na forma intacta. Pequenas perdas de componentes são permitidos, isto é, menos que 2% do grão e 10% do farelo que podem ser processados através de métodos que garantam a inocuidade e a qualidade da farinha integral” (KAMP et al., 2014).

A definição da AACC de 1999 forneceu a base para outras definições, que tentaram redigir de forma de mais fácil entendimento pelo consumidor e com a possibilidade de refletir as realidades das práticas de moagem aplicadas, como as opções estabelecidas na definição do projeto HealthGrain. Entre elas, a possibilidade de pequenas perdas de componentes visando à redução de micotoxinas, agroquímicos ou componentes microbianos que tendem a estar concentrados nas camadas mais externas do pericarpo, bem como a possibilidade do moinho ou fabricante realizar o processo de recombinar as frações de moagem, desde que não ocorram perdas nutricionais pronunciadas.

As definições existentes de grãos integrais são fiéis 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 grãos integrais são considerados como ricas fontes de fibras, vitaminas, minerais e compostos fitoquímicos. Os grupos mais importantes de fitoquímicos encontrados em grãos integrais podem ser classificados como fenólicos, carotenóides, compostos de vitamina E, lignanas,  $\beta$ -glucanas e inulina. Na forma estrutural, os grãos integrais são compostos de endosperma, que é rico em amido e representa cerca de 75-80% do peso dos grãos, e o gérmen e farelo (incluindo aleurona), os quais na proporção do peso total do grão podem variar entre diferentes grãos e variedades (LIU, 2007). Apesar da semelhança na estrutura básica, o equilíbrio na composição de nutrientes e de compostos bioativos dos grãos integrais

pode variar dependendo da espécie, cultivar utilizada e das condições de cultivo (FROLICH et al., 2013).

O valor nutricional dos grãos integrais também pode ser impactado pelas técnicas de processamento aplicadas. Estudos apresentam mudanças no valor nutricional de grãos integrais por moagem e processamento, aumentando a digestibilidade e a disponibilidade de aminoácidos, minerais e vitaminas (LOPEZ et al., 2003). Entretanto, ao comparar o efeito na taxa de nutrientes de grãos integrais obtidos por diferentes técnicas de moagem, é importante verificar se as diferenças são atribuíveis ao processo de moagem e não a diferentes taxas de extração ou a outros aspectos do grão, como as diferenças de genotípicas de cultivares. Além disso, uma comparação de métodos não deve apenas olhar para o conteúdo de nutrientes, mas também para a biodisponibilidade visando determinar a quantidade real de nutrientes absorvidos ou que são assimilados pelo organismo.

O suporte a processos de moagem e produção que mantenham a integridade e os benefícios nutricionais dos constituintes, bem como a segurança do produto e aceitação do consumidor, auxiliam na possibilidade de aumentar o consumo de grãos integrais. Assim, definições como a da HealthGrain, que reconhece e difunde as práticas atuais de moagem, são importantes, especificamente por descreverem que a recombinação dos constituintes do grão após a moagem é aceitável.

Os benefícios ao organismo humano devido à ingestão de grãos integrais inicialmente foram atribuídos ao seu elevado teor de fibras, porém 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 relação das fibras com a prevenção da obesidade é explicada pelo aumento da sensação de saciedade, provocado pela redução do índice glicêmico. Fibras promovem ainda a elevação da sensibilidade à insulina e a redução de lipídios no sangue, fatores que previnem 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 de lipídios no sangue, do aumento da atividade antioxidante e anti-inflamatória, 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 pelos ingredientes existentes na alimentação padrão, preço e disponibilidade (KUZNESOF et al., 2012).

Estudos para o desenvolvimento de tecnologias de processamento de grãos inteiros, a fim de criar produtos mais atraentes são, portanto, necessários. O sabor, cor e textura dos alimentos elaborados com ingredientes de grãos inteiros devem ser otimizados para aumentar a aceitação do consumidor.

## **2.2 Trigo**

### *2.2.1 Cultura e 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. Os principais produtores mundiais de trigo são China, Índia, Rússia, Estados Unidos, França e Canadá (FAO, 2019).

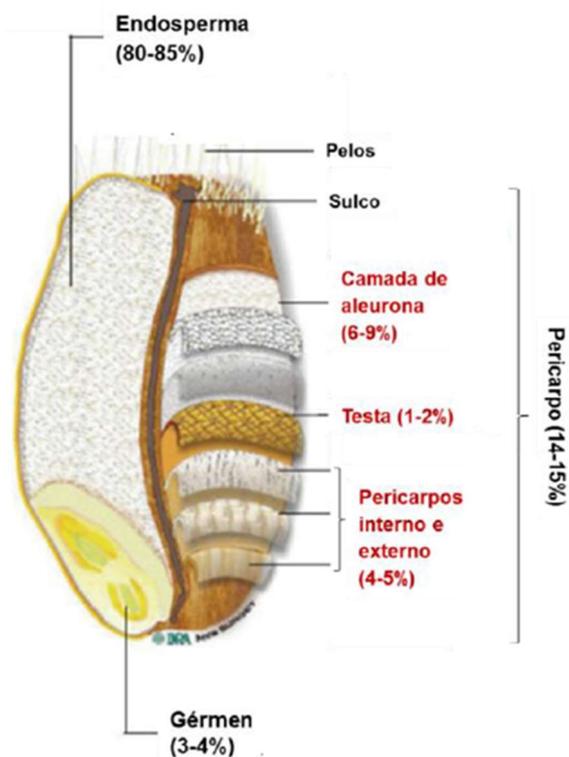
No Brasil, a produção anual de trigo oscila entre 5 e 6 milhões de toneladas. É cultivado em cerca de 90% na região Sul, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná e vem sendo introduzido, em menor porcentagem, nas regiões Sudeste e Centro-oeste, nos estados de Minas Gerais, São Paulo, 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, e com a menor oferta de trigo com qualidade para panificação no mercado interno, estima-se que no ano-safra 2018/2019 para suprir a demanda seja importado aproximadamente 6,500 milhões de toneladas de trigo (CONAB, 2019).

### *2.2.2 Estrutura e composição química*

O grão de trigo é composto principalmente de carboidratos (65–75% de amido e fibra) e proteínas (7–12%), mas também contém lipídios (2–6%), água (12–14%) e micronutrientes (POMERANZ, 1988). É boa fonte de minerais (especialmente magnésio) e vitaminas do complexo B, e contém moléculas que exibem atividades interessantes: vitamina E, compostos antioxidantes (ácidos fenólicos, carotenóides,

etc.) e compostos hormonalmente ativos, como as ligninas (SLAVIN et al., 1999). Possui estrutura complexa composta por diferentes tecidos com composições e estruturas específicas, como ilustrado na Figura 1, com as distribuições dos diferentes compostos variando entre os tecidos do grão.



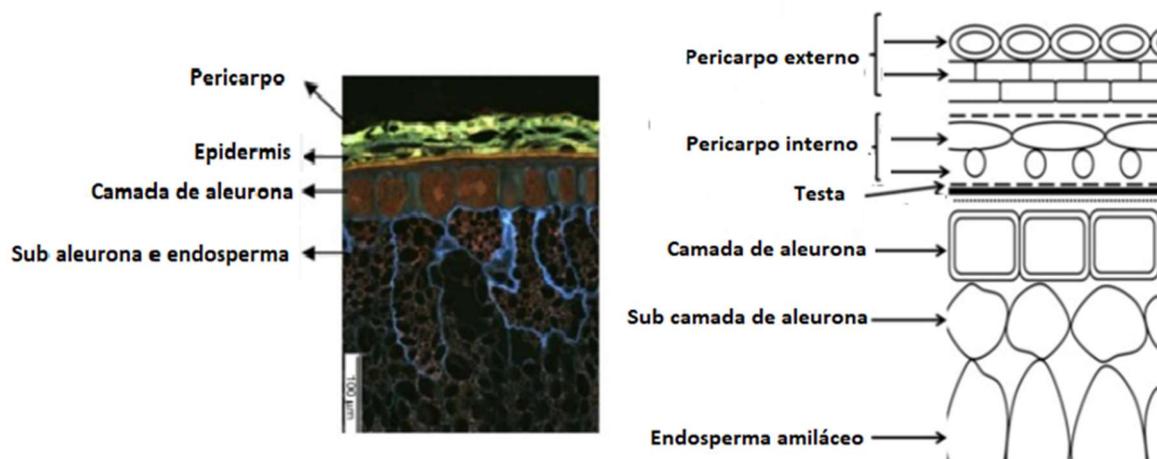
**Figura 1.** Grão de trigo e componentes anatômicos.

Fonte: Adaptado de Hemery (2009).

O endosperma amiláceo corresponde a cerca de 80 a 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 a 4% do grão (HOSENEY, 1991).

As camadas externas do grão, conhecidas na indústria moageira como farelo (Figura 2) são caracterizadas por estruturas e composições distintas, as quais variam entre 14 a 15% da constituição total do grão (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).



**Figura 2.** Demonstração esquemática das partes externas do grão de trigo.

Fonte: Adaptado de Dornez et al. (2009).

Os principais constituintes do farelo de trigo são os carboidratos da parede celular (arabinoxilanas,  $\beta$ -glicana, celulose), amido, frutanos, lignina, proteínas, lipídios e minerais (Tabela 1). O farelo de trigo também é considerado fonte de vitaminas e de compostos bioativos (HEMERY et al. 2007). As variações na composição dos constituintes decorrem de diferenças genéticas e agrícolas do trigo, bem como podem ocorrer devido ao processo de moagem aplicado (KAMAL-ELDIN et al., 2009).

**Tabela 1.** Principais constituintes do farelo de trigo.

Componente	Conteúdo (% de farelo seco)
Arabinoxilanas	19,0 – 30,0
Celulose	9,3 – 12,0
Lignina	3,0 – 4,9
Frutanos	2,8 – 3,7
$\beta$ -glicana	1,2 – 2,6
Amido	8,8 – 29,0
Proteína	14,0 – 17,0
Lipídios	5,6 – 6,0
Cinzas	4,0 – 6,6

Fonte: Adaptado de HEMERY et al. (2007).

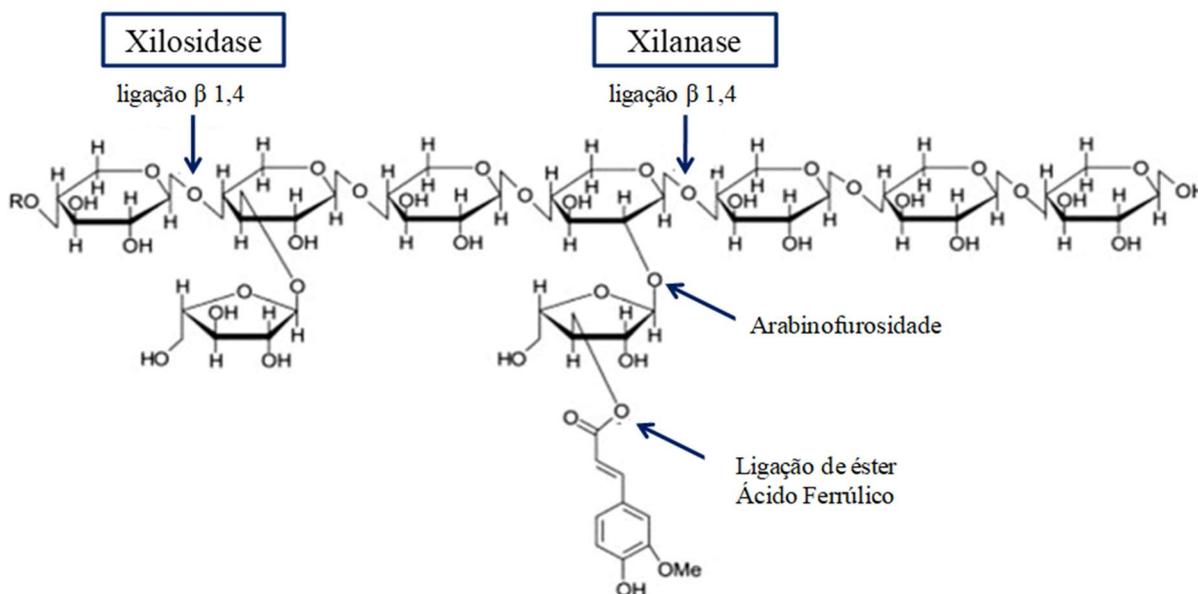
A estrutura e a composição química das paredes celulares variam entre as diferentes camadas de farelo. A camada de aleurona consiste principalmente de arabinoxilanas e  $\beta$ -glicana, enquanto que o pericarpo do farelo contém celulose, lignina e arabinoxilanas (ANTOINE et al. 2004). A maior parte da proteína do farelo, dos lipídios e dos fitoquímicos estão concentrados na fração aleurona (HEMERY et al. 2007).

A fibra alimentar, definida pela American Association of Cereal Chemists (AACC, 2009) como a parte comestível das plantas que são resistentes à absorção e à digestão no intestino delgado humano com fermentação parcial ou completa no intestino grosso, representa a porção principal (40-50%) do farelo de trigo. Os principais polímeros da fibra alimentar no farelo de trigo são arabinoxilanas, celulose, lignina, frutanos e  $\beta$ -glicana (Tabela 1).

As arabinoxilanas (AX) são o maior constituinte da fração insolúvel da fibra alimentar presente na fração de farelo de trigo, pertencem ao grupo dos polissacarídeos não amiláceos e são também classificadas como hemiceluloses (DERVILLY-PINEL et al. 2001). São compostas principalmente por xilose e arabinose, ambas pentoses, as AX também são chamadas de pentosanas (MENDIS & SIMSEK, 2014). A estrutura das AX consistem de uma cadeia linear de resíduos de xilose ligados a  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4), que são substituídos por resíduos de arabinose na posição C (O)-2 e/ou C(O)-3 (DORNEZ et al. 2009).

Os ácidos fenólicos, como o ácido ferúlico, podem estar ligados ao C (O)-5 da arabinose através de ligação de éster. Sob condições oxidativas, estes resíduos de ácido ferúlico sofrem ligação cruzada oxidativa entre diferentes resíduos de ácido

ferúlico que formam pontes de ácido diferúlicos inter e intra-cadeias (GEISSMAN & NEUKOM, 1973). O ácido ferúlico também pode funcionar como um eliminador de radicais, assim, tem potencial benéfico para a saúde como antioxidante (MPOFU, SAPIRSTEIN, & BETA, 2006). A estrutura da AX e das enzimas envolvidas na sua degradação são mostradas na Figura 3.



**Figura 3.** Estrutura da arabinoxilana (AX) e os locais de ataque por enzimas xilanolíticas envolvidas na sua degradação. A espinha dorsal da AX é composta por resíduos de xilose ligados a (1,4), que podem ser substituídos por resíduos de arabinose na posição C(O)-2 e / ou C(O)-3. O ácido ferúlico pode ser esterificado na posição C(O)-5 da arabinose.

Embora AX possa ser mostrada usando uma estrutura geral, existem duas classes diferentes de AX no trigo. A classificação é baseada na sua capacidade de extração em água, podendo ser denominadas como arabinoxilanas extraíveis com água (AXEA) e arabinoxilanas não extraíveis com água (AXNEA) (COURTIN & DELCOUR, 2002). As diferenças entre essas duas moléculas fazem referência ao grau de ramificação, de polimerização e ao peso molecular, sendo que nas arabinoxilanas não extraíveis (AXNEA) essas características são sempre superiores (ELIASSON; LARSSON, 1993). As Axea estão fracamente ligadas à superfície da parede celular. Em contraste, as AXNEA são retidas na parede celular por interações

covalentes e não covalentes com AX e proteína, lignina e celulose (IYAMA, LAM, & STONE, 1994).

Recentemente, as AX atraíram muita atenção devida suas atividades biológicas. Dietas ricas em AX têm sido associadas a efeitos benéficos à saúde, incluindo respostas positivas como redução na concentração de glicose, de insulina e de triglicerídeos em pacientes com diabetes tipo II, na capacidade antioxidante e nos efeitos imunológicos (LU et al., 2004; GARCIA et al., 2007 e WANG et al., 2010).

Malunga, Izydorczyk e Beta (2017), com objetivo de investigar o papel de AX com estruturas variáveis provenientes do farelo de trigo na prevenção da peroxidação lipídica sob condições gástricas, demonstraram que a capacidade antioxidante das AX está fortemente relacionada ao conteúdo de resíduos de ácido ferúlico esterificado, ao padrão de substituição da xilose e ao peso molecular do polímero. Contudo, segundo Fadel et al. (2018) ainda existe inconsistência na literatura quanto aos efeitos relacionados a saúde de AX de cereais, que pode estar ligada à fonte e ao método de extração das AX.

Além dos benefícios que as AX podem fornecer para a saúde humana, nas características de estrutura e de solubilidade, conferem às AX propriedades físico-químicas únicas, que determinam sua funcionalidade na panificação, principalmente o equilíbrio da água na massa, propriedades reológicas, retrogradação do amido e qualidade de panificação (COURTIN e DELCOUR, 2001).

De forma geral, as AX possuem grande capacidade de absorção de água, sendo capazes de reter até 10 vezes sua massa em água, fenômeno que cria forte concorrência entre outros constituintes da farinha pela água (AUTIO, 2006; COURTIN e DELCOUR, 2001). A elevada capacidade de ligação de água é atribuída à ligação de hidrogênio das moléculas de água a grupos OH na cadeia de polímero (WANG et al., 2002).

As AX têm sido observadas há muito tempo por influenciarem a qualidade de cozimento. Biliaderis, Izydorczyk e Rattan (1995) adicionaram AXEA de alto e de baixo peso molecular na farinha controle para determinar as diferenças na capacidade de absorção de água e no tempo de desenvolvimento da massa. Tanto a AXEA de alto quanto a de baixo peso molecular aumentaram a absorção de água e o tempo de desenvolvimento significativamente ( $p < 0,01$ ). Portanto, ao aumentar a quantidade de AX, a quantidade de água necessária para produzir a massa de boa qualidade também é aumentada (COURTIN e DELCOUR, 2002).

Wang et al. (2002) determinaram que a adição de AX reduziu o rendimento de glúten em 15% quando apenas 0,2% de AX foram adicionadas à mistura de farinha. No entanto, AX também podem funcionar de forma semelhante ao glúten durante o processo de fermentação, diminuindo a difusão de CO<sub>2</sub> para fora da massa, contribuindo assim para a retenção de gás e volume global de pão (GOESAERT et al., 2005). Em produtos de trigo mole, o aumento da concentração de AX aumenta a viscosidade da massa, que reduz a taxa de espalhamento do biscoito, proporcionando a redução no seu diâmetro (BETTGE e MORRIS, 2007).

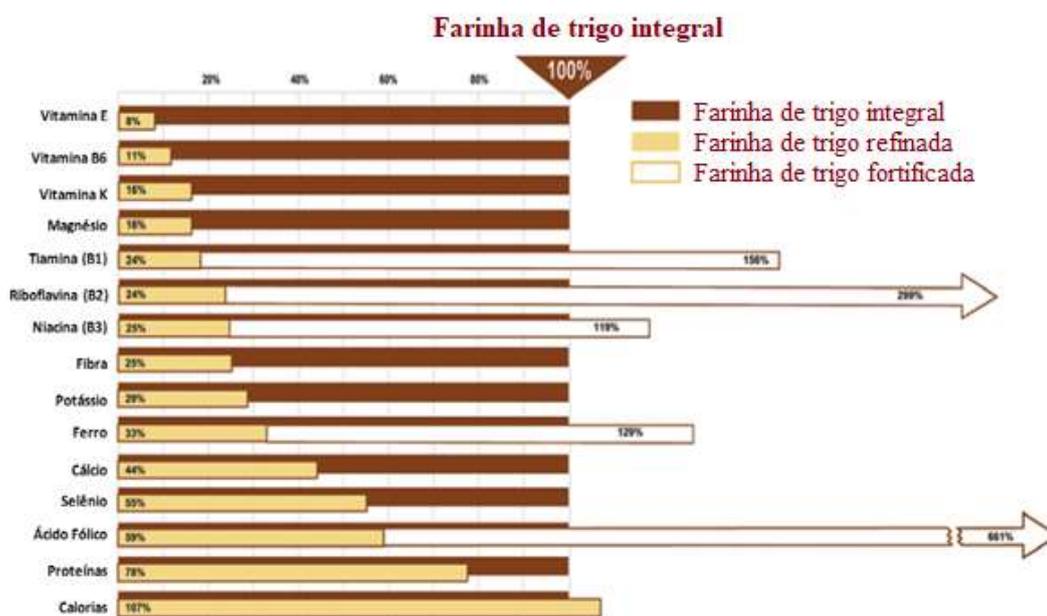
Além da fibra alimentar, compostos com potencial nutricional interessante estão presentes na composição do farelo de trigo e são distribuídos de forma diferenciada nas células dos tecidos periféricos que o contemplam. As camadas do pericarpo e testa contêm quantidades significativas de lignina, que são polifenóis cujos metabólitos agem como antioxidantes (QU et al., 2005). A camada de aleurona é composta de células vivas que envolvem, vitaminas, proteínas, minerais e compostos fitoquímicos (HEMERY et al, 2007 e POMERANZ, 1988). Entre os compostos fitoquímicos, os ácidos fenólicos representam a forma mais comum de compostos fenólicos em trigo. Estes ácidos estão presentes principalmente na forma ligada aos componentes estruturais da parede celular (SAULNIER et al., 2007).

O farelo de trigo também contém ácido fítico, localizado principalmente na camada de aleurona. No entanto, a presença de fitato é considerada como anti-nutriente em humanos, devido ao seu efeito sobre a biodisponibilidade de ferro, magnésio, zinco e cálcio. Embora o mecanismo não seja inteiramente compreendido, sugere-se que o ácido fítico liga-se fortemente a esses cátions minerais para formar complexos fitato-minerais, alterando sua solubilidade, funcionalidade de absorção e digestibilidade (STEVENSON et al., 2012). Consequentemente, o complexo não pode ser absorvido ou facilmente hidrolisado pelo corpo humano e, portanto, há um efeito adverso na biodisponibilidade de minerais (HARLAND e HARLAND, 1980).

### **2.3 Farinha de trigo integral**

Na farinha de trigo integral (FTI) os principais componentes anatômicos do grão, como endosperma, farelo e gérmen estão presentes nas mesmas proporções como existem no grão na forma intacta. Assim, fornece em sua composição substancialmente mais vitaminas, minerais, antioxidantes e outros nutrientes que a farinha de trigo refinada (FTR), uma vez que esses compostos estão concentrados

nas camadas externas do grão em maior quantidade (WEAVER, 2001). A Figura 4 mostra as diferenças de nutrientes encontradas para farinhas de trigo integral, farinha refinada e farinhas de trigo fortificadas. O refino da farinha de trigo remove o farelo e germe da composição, diminuindo nutrientes essenciais para níveis que variam de 8% (vitamina E) a 59% (ácido fólico) do nível naturalmente presente no trigo integral. Apenas as calorias aumentam com o processo de refino (JONES et al., 2015).



**Figura 4.** Comparação de nutrientes em farinhas de trigo integral, refinada e fortificada.

Fonte: Adaptado de Jones et al. (2015).

O processo de fortificação da farinha de trigo refinada, também conhecido como enriquecimento, ocorre em muitos países com objetivo de substituir os nutrientes perdidos durante o processo de moagem. Na fortificação, nutrientes são adicionados em quantidades mais elevadas do que as encontradas no grão original, seguindo recomendações da organização mundial da saúde. As especificidades sobre quais micronutrientes são adicionados e suas quantidades variam por tipo de grão e com as necessidades nutricionais específicas da região. Iniciativas de enriquecimento e fortificação de farinhas, tanto obrigatória como voluntária, reduziram a deficiência de tiamina, de niacina, de ácido fólico e de ferro em muitas partes do mundo (HENNESSY, WALTON e FLYNN, 2013).

O principal desafio da aplicação da FTI é controlar as alterações adversas que a presença das camadas externas do grão (farelo) na composição da farinha proporciona na estrutura e qualidade sensorial dos produtos finais, influenciando a aceitabilidade pelos consumidores. Além das características do produto final, a utilização da FTI também resulta em muitas alterações nas propriedades da massa e técnicas de processamento (CAI et al., 2014, NIU et al., 2014, STEGLICH et al., 2015, WANG et al., 2016). Alternativas visando à redução da influência do farelo nas propriedades de panificação veem sendo estudadas, como a adição de glúten, de enzimas, a aplicação de tratamentos térmicos e o controle do tamanho das partículas de farelo (KATINA et al., 2006; PENELLA, COLLAR, & HAROS, 2008).

Em comparação com outros métodos, o controle do tamanho de partícula é mais natural e econômico. Entretanto, ao contrário da FTR, na qual o processo de moagem está bem estabelecido, a produção da FTI ocorre por uma variedade de técnicas, resultando em farinhas com diferentes tamanhos de partículas e funcionalidades (DOBLADO-MALDONADO et al., 2012). Entre as técnicas mais utilizadas para obtenção da FTI estão a moagem direta por moinho de pedra e a moagem através de moinho de rolos, contemplando cilindros e peneiras. Através da moagem direta, a qual envolve os processos de compressão, cisalhamento e abrasão é possível garantir a permanência de todos os constituintes do grão na composição da farinha, contudo, as altas temperaturas envolvidas no processo (90-98°C) podem proporcionar alterações em constituintes como proteínas e lipídios. Na moagem com sistema de cilindros e peneiras, os processos envolvidos de quebra e redução separam as frações do grão em farinha refinada e farelo, gerando assim a necessidade de reconstituição e aumentando a possibilidade de adulterações.

O tamanho de partícula é um parâmetro importante para a utilização da FTI, 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, podendo afetar a liberação 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 as propriedades de hidratação do farelo e as propriedades das massas (SANZ PENELLA et al., 2008; NOORT et al., 2010).

Embora muitos estudos tenham investigado o efeito do tamanho das partículas na qualidade dos produtos de farinha integral, os resultados foram controversos. Zhang e Moore (1999) observaram que pães contendo farelo fino tinham menor volume específico de pão e cor mais escura do que pães contendo farelo grosso ou médio. Noort et al. (2010) relataram maior influência negativa na qualidade da panificação quando o tamanho das partículas de farelo foi reduzido. Cai et al. (2014) também encontraram redução no volume de pão e maior grau de retrogradação do amido durante o armazenamento de pão feito de farinha de trigo com menor tamanho de partícula do farelo. Hemdane et al. (2015) investigando diferentes técnicas de moagem e os efeitos adversos do farelo de trigo na panificação observou que o volume específico do pão foi significativamente reduzido quando o farelo fino foi adicionado.

Avaliando propriedades de massas, Chen et al. (2011) relataram que utilizando farelo grosso, parâmetros como a força de ruptura e a flexibilidade das massas secas, que indicam a adequação do produto para embalagem e transporte foram reduzidos. Niu et al. (2014) também verificaram que a redução do tamanho das partículas de farelo poderia proporcionar um efeito benéfico sobre a qualidade da massa cru de farinha de trigo integral.

Os biscoitos, produtos de bastante importância para indústria de panificação também apresentam suas características de qualidade afetadas pela utilização da FTI (LI et al., 2014). Wang et al. (2016) avaliaram o efeito do tamanho das partículas nas propriedades da farinha integral e desempenho no cozimento de biscoitos *crackers*, e verificaram que a redução no tamanho das partículas da farinha integral aumentou a resistência da massa e melhorou o desempenho de cozimento.

Protonotariou et al. (2016) avaliando o efeito da adição de farinha de trigo integral micronizada em diferentes proporções, demonstraram que, reduzindo o tamanho de partícula da farinha e aumentando o nível de substituição, foram produzidas massas com maior viscosidade e biscoitos mais duros.

Esses estudos apresentados comprovaram que o efeito do tamanho de partícula do farelo na qualidade do produto final varia conforme o tipo de produto e intervalos específicos de tamanho de partícula. Embora considerado componente crítico para o processo, é em grande parte desconhecido como o tamanho de partícula da farinha elaborada pela moagem inteira do grão de trigo influencia as propriedades tecnológicas da farinha e as características de panificação, pois a maioria dos estudos

faz referência ao tamanho de partícula do farelo utilizado em diferentes níveis de reincorporação sobre as propriedades das massas e a qualidade dos produtos acabados.

## 2.4 Biscoito tipo *cookie*

Biscoitos estão entre os produtos de panificação mais populares e consumidos no mundo, resultado de suas características como o estado pronto para consumo, qualidade nutricional, disponibilidade em diferentes variedades e longa vida de prateleira, que permite que sejam amplamente produzidos e distribuídos (WANG, LI e GAO, 2014). Tais características tornam o biscoito um alimento conveniente para estudo de diferentes formulações e como via para fornecer compostos com benefícios à saúde para consumidor.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de biscoitos e o consumo dos brasileiros apresenta média atual de 5,55 kg por habitante ao ano. O segmento de biscoitos representa aproximadamente 70% do valor das exportações com derivados de trigo, gerando receitas que chegam a 90 milhões de dólares por ano (ABIMAPI, 2018).

Biscoito tipo *cookie* pode ser definido como produto assado, caracterizado pelo baixo teor de água final e geralmente contendo três ingredientes principais, farinha, açúcar e gordura (WADE, 1988). Outros ingredientes que podem ser incluídos na formulação são leveduras, agentes químicos de fermentação, xaropes, sal, emulsionantes, mas estes são geralmente usados apenas em níveis menores (CHEVALLIER et al., 2000).

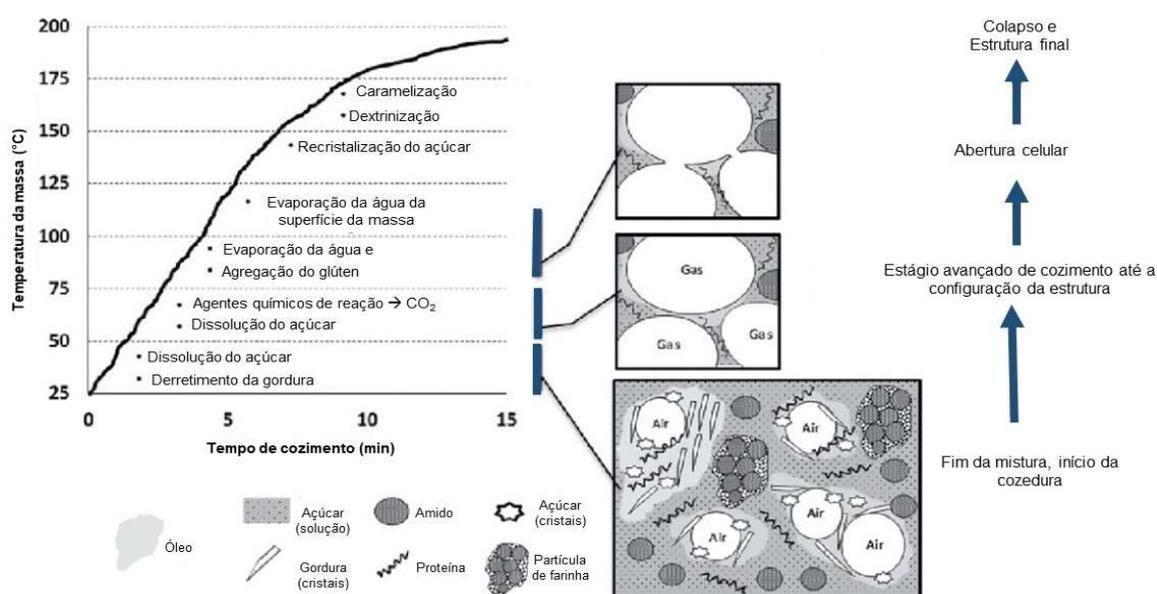
Características como maior diâmetro e menor altura fazem referência a parâmetros de qualidade desejáveis para biscoitos tipo *cookie* (HOSENEY, 1994). Além disso, os biscoitos tipo *cookie* devem exibir não apenas bom espalhamento, mas também padrão uniforme de fissuras na superfície (MILLER E HOSENEY, 1997). As fissuras na superfície dos biscoitos resultam da recristalização de sacarose na superfície do biscoito durante o cozimento (DOESCHER E HOSENEY 1985).

O processo de preparação de *cookies* consiste em três etapas principais, mistura e formação (modelagem), cozimento e resfriamento (PAREYT e DELCOUR 2008, MISRA e TIWARI 2014). A mistura, etapa crítica da fabricação de biscoitos tem como objetivo proporcionar uma massa coesa que possa ser revestida ou moldada e

formada. O glúten deve formar uma rede mínima, suficiente para o manuseio e formação da massa (PAREYT e DELCOUR 2008).

A etapa de cozimento da massa de biscoitos envolve a transformação em um sólido com textura final característica, processo que é induzido pela expansão da massa (Chevallier et al., 2000 a). Miller e Hosenev (1997) demonstraram que durante o cozimento, o diâmetro dos biscoitos tipo cookie aumenta linearmente com o tempo e, de repente, torna-se fixo. Portanto, a taxa de espalhamento do biscoito é controlada pela viscosidade da massa e o grau de espalhamento resulta no diâmetro final do biscoito, o qual é controlado pela taxa de difusão. A taxa de difusão é também influenciada pelos componentes de capacidade de ligação à água presentes na massa (PAREYT e DELCOUR, 2008).

Os principais objetivos da etapa de cozimento são a geração de CO<sub>2</sub> pelos agentes de fermentação, origem da estrutura porosa do biscoito (via expansão das bolhas), espalhamento do biscoito em expansão, fixação e estabilização da estrutura porosa resultante do biscoito, remoção de umidade e escurecimento do biscoito (Chevallier et al. 2002, Pareyt e Delcour 2008, Misra e Tiwari 2014). Recentemente van der Sman e Renzetti (2018) listaram as transições físico-químicas em ordem subsequente ocorridas durante o cozimento dos biscoitos levando em consideração a temperatura da massa em função do tempo de cozimento (Figura 5).



**Figura 5.** Representação do desenvolvimento da estrutura em biscoitos durante várias etapas do cozimento, associados a transições físico-químicas.

Fonte: Adaptado de van der Sman e Renzetti (2018).

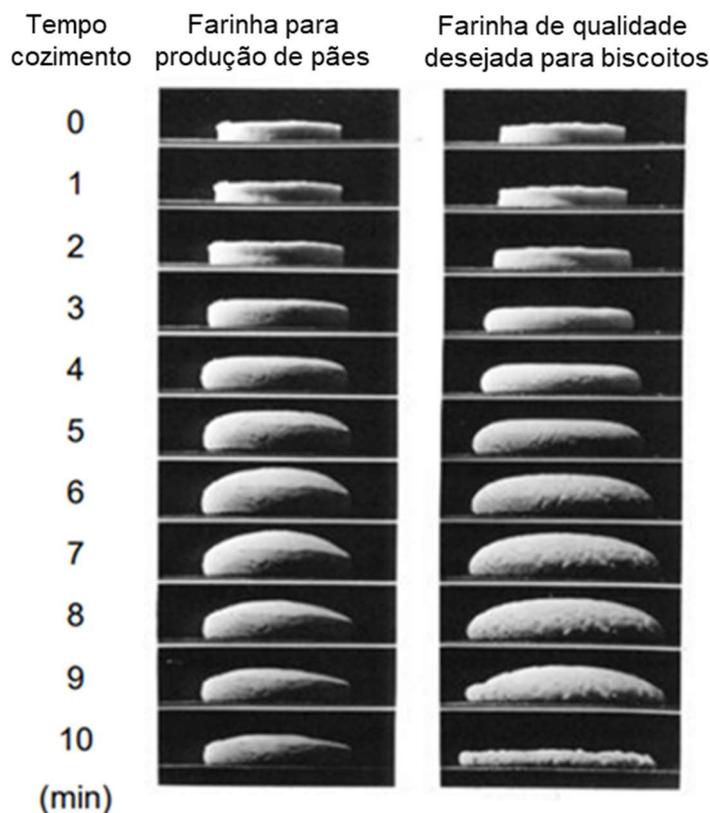
Os diferentes estágios de preparação dos biscoitos tipo *cookie* alteram as propriedades físicas e bioquímicas dos constituintes da farinha e dos ingredientes como açúcar e gordura presentes na formulação da massa. E estes apresentam grande influência nas transformações durante os processos, uma vez que sua funcionalidade e propriedades são determinantes para a qualidade final dos *cookies*.

#### 2.4.1 Componentes da farinha de trigo e seu papel na fabricação de biscoitos

A farinha é o principal ingrediente presente na formulação para elaboração do biscoito, fornece a matriz em torno da qual os outros ingredientes em proporções variadas são misturados para formar a massa. As farinhas de trigo mole apresentam as propriedades mais adequadas para a produção de biscoitos, como teor de proteína relativamente baixo, baixa absorção de água, granulometria mais fina e menos amido danificado do que as farinhas obtidas de trigo duro (TANILLI, 1976).

Os biscoitos elaborados de farinha de trigo mole apresentam melhor aparência e qualidade de consumo do que aqueles elaborados de farinha de trigo duro. Durante o cozimento, as massas preparadas com farinha de trigo mole espalham-se em um ritmo mais rápido que as preparadas com farinhas de trigo duro, fato que pode ser explicado devido à característica menos viscosa da massa (MILLER E HOSENEY 1997; GAINES E FINNEY 1989).

Com o objetivo de examinar o efeito da seleção da farinha na cinética de expansão dos biscoitos tipo *cookie* durante o cozimento, Yamazaki e Lord (1978) demonstraram através de imagens realizadas em intervalos de tempo, o comportamento de expansão de biscoitos elaborados com farinha classificada de qualidade para produção de biscoitos e farinha sem a qualidade desejável. Conforme pode ser observado na Figura 6, independentemente do tipo de farinha, os biscoitos expandiram em largura e altura, e seu comportamento de expansão é essencialmente idêntico durante os dois primeiros minutos de cozimento. No terceiro minuto de cozimento já é possível observar que o biscoito elaborado com a farinha de qualidade desejável não é mais capaz de suportar seu próprio peso; a expansão continuada é acompanhada por colapso estrutural progressivo e fluência lateral, e a fase mais dramática do colapso ocorre no último minuto do ciclo de cozimento de 10 minutos. O oposto ocorre para o biscoito elaborado com farinha sem qualidade desejável, mostra capacidade de suportar seu próprio peso durante todo o ciclo de cozimento e o colapso na estrutura não é observado.



**Figura 6.** Imagens realizadas em intervalos de tempo durante o processo cozimento de biscoitos tipo *cookie* elaborados com farinha classificada sem qualidade desejável (adequada para produção de pães) e farinha adequada para biscoitos.

Fonte: Yamazaki e Lord (1978).

Os principais componentes hidrofílicos presentes na formulação dos biscoitos são a farinha e o açúcar. A menor absorção de água pela farinha aumenta a absorção de água pelo açúcar diminuindo a viscosidade da massa durante o cozimento. Isso permite que a massa possa espalhar-se mais e produzir *cookies* de maior diâmetro (SLADE e LEVINE 1994). Portanto, conhecer as especificações funcionais dos constituintes da farinha e suas transformações durante os processos de elaboração dos biscoitos são de grande importância para o desenvolvimento de produtos finais com a qualidade desejada.

A presença do amido na massa controla a quantidade de água necessária para o desenvolvimento da consistência desejada. O amido absorve seu próprio peso de água e três vezes mais quando mecanicamente danificado durante a moagem (MANLEY, 2000). Em produtos onde a absorção de água não é desejada, como nos biscoitos, os grânulos de amido danificados proporcionam efeitos adversos na qualidade do produto final. A maior absorção de água aumenta a viscosidade de

massa afetando a taxa de propagação levando a produção de biscoitos de menor diâmetro (DONELSON e GAINES 1998).

O papel do amido danificado durante a produção de massa de biscoito segundo Hosney e Rogers (1994) envolve as razões pelas quais os *cookies* são elaborados a partir de farinhas de trigo mole. No trigo mole, a adesão entre os grânulos de amido e a matriz proteica é mais fraca em relação ao trigo duro, proporcionado que após o processo de moagem, os grânulos de amido permanecem mais intactos e, portanto, com menor teor de danos. Embora o nível de amido danificado seja um parâmetro importante para a qualidade de biscoitos, não apresenta a mesma atividade durante o processo de cozimento como ocorre no processo do pão. Os altos níveis de açúcar e água em menor proporção não promovem a gelatinização da maioria dos grânulos de amido. Dessa forma, os grânulos permanecem intactos e atuam como “enchimento” na matriz fornecida pelos demais constituintes que sustentam a estrutura do *cookie* (CHEVALLIER ET AL., 2000b).

Na produção de biscoitos, a mistura dispersa os ingredientes uniformemente e promove a absorção de água, em vez de desenvolver uma verdadeira estrutura de massa (HUEBNER et al., 1999). O desenvolvimento da rede de glúten é limitado devido aos altos níveis de gordura e açúcar. No entanto, a proteína da farinha de trigo não é funcionalmente inerte na massa de biscoito, especialmente durante o cozimento (GAINES, 1990). Pesquisas revelaram que farinhas com níveis mais elevados de proteína prolongam o tempo de forno e promovem à redução no espalhamento da massa dos biscoitos (PAREYT et al., 2010). A redução no espalhamento dos biscoitos devido ao aumento dos níveis de proteína está relacionada às propriedades de retenção de água da proteína, as quais competem pela água livre presente no sistema de formação da massa, levando a redução da dissolução do açúcar, proporcionando assim maior viscosidade de massa.

A literatura apresenta algumas teorias envolvendo a função crítica das proteínas na fabricação de biscoitos que proporcionam a redução no fator de espalhamento da massa durante o cozimento. A primeira visão, relatada por Doescher et al. (1987) e Miller et al. (1996) é que, durante o aquecimento, a massa de biscoito flui até que a proteína passe por uma transição vítrea, ganhando mobilidade que lhe permite intumescer e formar uma fase ou rede contínua, que aumenta a viscosidade e, como consequência, induz a redução do espalhamento. Em contraste, de acordo com Slade et al. (1989) a temperatura de transição vítrea do glúten de trigo não é crítica no

mecanismo de ajuste dos biscoitos durante o cozimento. Eles sugerem que as proteínas nas farinhas de trigo mole exibem expansão e fluidez seguidas de colapso estrutural, enquanto que as das farinhas de trigo duro exibem expansão elástica seguida de encolhimento elástico. Já segundo Pareyt et al. (2009), em sistemas de massa de biscoito sem a rede de glúten desenvolvida e contendo altos níveis de açúcar e gordura, a polimerização das proteínas causa colapso durante o cozimento.

A farinha também apresenta na composição os polissacarídeos não amiláceos (PNA), presentes nas paredes celulares do endosperma e nos tecidos do farelo (VAN DER BORGHT et al., 2005). As arabinoxilanas (AX) são os PNA mais importantes da farinha de trigo, embora estejam em pequenas quantidades na farinha, contribuem com a absorção de água na massa e não são benéficas para a produção de biscoitos, porque, independentemente da capacidade de extração de água, aumentam a viscosidade da massa, o que é deletério para a qualidade do biscoito, devido à redução no espalhamento (COURTIN et al., 1999).

Embora presentes em quantidades pequenas, os lipídios de farinha têm efeito importante no desenvolvimento do glúten. Pode parecer improvável que essas pequenas quantidades de lipídios possam ter efeito pronunciado nas massas de biscoito, onde grandes quantidades de gordura são adicionadas na receita (8 - 50 vezes a quantidade de lipídios naturais). No entanto, foi mostrado por Cole et. al (1960), que a extração dos lipídios naturais da farinha teve efeito marcante sobre as propriedades dos biscoitos. O diâmetro dos biscoitos foi significativamente menor em comparação com os controles, a aparência da superfície e a cor dos biscoitos também foram alteradas.

Avaliando o papel dos lipídios de farinha de trigo mole durante a produção de massa de biscoito, Papantoniou et al. (2004) demonstraram que os lipídios da farinha têm efeitos benéficos em sistemas de massa curta, e que o seu papel não é mascarado pelos altos níveis de gordura adicionada. Em sistemas de massa curta e o fato da absorção de água do glúten desengordurado ser maior que a do glúten de controle, indica que os lipídios desempenham papel importante, presumivelmente porque eles alteram a afinidade dessas proteínas pela água.

#### 2.4.2 *Biscoito tipo cookie de farinha de trigo integral*

Os biscoitos tipo *cookie* elaborados com farinha de trigo integral estão entre as estratégias da engenharia de alimentos na busca de melhorar a qualidade nutricional

dessa classe de produtos. A substituição do principal contribuinte do conteúdo de carboidratos dos biscoitos tipo *cookie*, que é a FR pela FTI pode reduzir o impacto desses lanches em problemas de sobrepeso e obesidade, bem como estimular o consumo de produtos integrais (CARNELL et al., 2017). No entanto, apesar do efeito benéfico da FTI, sua aplicação proporciona alterações nas propriedades da massa, parâmetros de processamento e na qualidade do produto final, levando a uma menor aceitação do consumidor.

O cookie, de forma particular, apesar de ser caracterizados por um sistema simples, contudo, quando é submetido a variações, como a aplicação de FTI, os parâmetros de qualidade relacionados a performance e conformidade são comprometidos. Entre as alterações mais observadas com a utilização de FTI ou incorporação de farelo estão o aumento na viscosidade da massa, redução do espalhamento, aumento da altura e dureza dos biscoitos (SOZER et al. 2014 e Protonotariou et al. 2016). As alterações nas propriedades observadas com a utilização da FTI são o resultado de interações entre os componentes da farinha e os componentes do farelo, como fibras alimentares, fenólicos, antioxidantes, compostos sulfidril de baixo peso molecular e enzimas (KHALID et al., 2017, NOORT et al., 2010) ou propriedades físicas do farelo, como capacidade de retenção de água (WRC) e tamanho de partícula de farelo (JACOBS et al., 2015). A composição do farelo varia entre diferentes cultivares de trigo e ambientes de cultivo (HOSSAIN et al., 2013 , CAI et al., 2014 ). Além disso, devido à diferente distribuição de componentes químicos entre as camadas de farelo, o desempenho da moagem pode influenciar significativamente a composição química do farelo, influenciando assim na funcionalidade de FTI (HEMDANE et al., 2016a e HEMDANE et al., 2016b).

### **3 Capítulo 1 – Artigo a ser submetido**

**Propriedades de hidratação de farinha integral de trigo destinada a produção de biscoitos: efeito do tamanho de partícula, da cultivar e sua interação**

Artigo a ser submetido ao periódico Food Hydrocolloids  
Qualis 2012-2016 em Ciência de Alimentos: A1-Fator de impacto: 5,839  
ISSN 0268-005X

## Resumo

O efeito dos fatores tamanho de partícula (TP), cultivar de trigo (C) e sua interação (TP x C) nas propriedades de hidratação utilizando métodos com diferentes abordagens foram estudados em amostras de farinha de trigo integral (FTI) destinadas a produção de biscoito. Três cultivares de trigo brasileiro foram avaliadas, sendo submetidas a diferentes condições de moagem, resultando em FTI fina, média e grossa, com diâmetro médio de partículas de 194,22  $\mu\text{m}$ , 440,15  $\mu\text{m}$  e 675,12  $\mu\text{m}$ , respectivamente. A FTI fina apresentou teores mais elevados de amido danificado e de arabinosilanas totais (TOT-AX), chegando a apresentar 6,18 vezes mais TOT-AX que a FTI grossa na cultivar BRS 374, enquanto que arabinosilanas solúveis em água (EA-AX) mostraram ser mais influenciadas pelo fator cultivar de trigo. A capacidade de absorção de água por farinografia mostrou maior influência do fator tamanho de partícula com maior absorção na FTI fina. Em contraste, a absorção de água baseada na capacidade de intumescimento e cinética de absorção mostrou maior absorção de água para FTI grossa. As propriedades de hidratação das FTI avaliadas através dos diferentes métodos mostraram que a presença das camadas externas do grão nas FTI promovem mecanismos diferenciados na capacidade de absorção de água, e estes são significativamente influenciados por fatores genotípicos e pelo tamanho de partícula. Além disso, através dos princípios diferenciados de absorção dos métodos utilizados, com e sem exposição de forças externas foi possível obter uma visão integrada da interação dos constituintes da FTI com a água e explicar algumas das observações contraditórias existentes na literatura quando considerado o comportamento do farelo.

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

### 3.1 Introdução

A farinha de trigo integral (FTI) apresenta-se como transportador ideal para proporcionar mais benefícios a saúde do consumidor através de produtos de panificação, principalmente nas categorias de alimentos básicos, como pães biscoitos e massas.

A FTI é obtida através da moagem do grão integral e contempla todos os componentes anatômicos do grão nas mesmas proporções como existem na forma intacta, endosperma, farelo e gérmen, fato que a caracteriza como excelente fonte de ingredientes nutricionais e funcionais (WEAVER, 2001). No entanto, apesar dos fatores promotores ligados a saúde, há grandes desafios tecnológicos e também sensoriais do uso da FTI em produtos de panificação (SAZ PENELLA, COLLAR e HAROS, 2008; NOORT et al., 2010; CAI et al., 2014; HEMDANE et al., 2016).

Uma observação recorrente nas pesquisas relacionadas à utilização da FTI é o aumento da absorção de água, a qual representa uma das características de qualidade de maior importância na determinação das propriedades funcionais da farinha integral (REN, WALKER, e FAUBION, 2008), especialmente em farinhas destinadas a produção de biscoitos.

A água desempenha função complexa na formulação de biscoitos, pois afeta a natureza das interações entre os ingredientes e contribui para estrutura da massa, modificando seu comportamento reológico. A água também exerce influência durante o processo de cozimento, no qual a massa seca e produz mudanças nas interações, regidas pela afinidade de cada componente pela água (BLANCO CANALIS, LEÓN e RIBOTTA, 2019).

As farinhas adequadas para produção de biscoitos, especialmente para os do tipo *cookie*, requerem baixa absorção de água (KWEON, SLADE, e LEVINE, 2011). Quando ingredientes com alta afinidade de água estão presentes na formulação, como a FTI, a água promove mudanças nas propriedades reológicas da massa causando dificuldades tecnológicas durante a produção e ocorrem alterações em parâmetros de qualidade que podem levar a redução na aceitabilidade pelos consumidores e limitar o consumo de grãos integrais.

As observações mais frequentes sobre as propriedades de hidratação da FTI incluem a capacidade distinta do farelo em absorver água. O farelo é um material higroscópico que concorre pela água com os outros componentes da farinha, como

amido e glúten, por diferentes processos de interação (ROOZENDAAL, ABU-HARDAN e FRAZIER 2012).

O farelo de trigo contém entre 44 e 50% de fibra, a qual é constituída principalmente por polissacárideos não amiláceos (STEVENSON, PHILLIPS, O'SULLIVAN, e WALTON, 2012). As arabinoxilanas (AX) constituem a maior fração não amilácea do farelo, suas características de estrutura e solubilidade conferem às AX propriedades físico-químicas únicas, entre elas a alta capacidade de ligação à água, a qual é atribuída à ligação de hidrogênio das moléculas de água e aos grupos OH na cadeia do polímero (WANG et al., 2002).

Tem sido relatado que polissacarídeos da parede celular apresentam grandes variações em sua estrutura e conteúdo, de acordo com as cultivares (SAULNIER et al., 2012; WANG et al., 2019). Somado aos fatores genotípicos da parede celular do farelo, esforços consideráveis têm sido realizados visando prever as interações do farelo na massa através de modificações nas técnicas de processamento, como a variação no tamanho das partículas.

A literatura apresenta muitos estudos relacionados as propriedades de hidratação do farelo de trigo em função do tamanho de partícula, com observações diferentes e também contraditórias (SANZ PENELLA et al. 2008; WANG et al., 2016, JACOBS et al., 2015; JACOBS et al., 2016). Contudo não existem relatos de estudos específicos sobre as propriedades de hidratação da FTI elaborada pela moagem inteira dos grãos de trigo destinados a produção de biscoitos, especialmente abrangendo fatores específicos de moagem e características genotípicas. Além disso, cultivares brasileiras destinadas a produção de biscoitos são pouco estudadas.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos dos fatores tamanho de partícula e cultivar, bem como suas interações, sobre as propriedades de hidratação da farinha integral, empregando três cultivares de trigo destinadas a produção de biscoitos no Brasil. Neste propósito, o teor de amido danificado e o conteúdo de arabinoxilanas foram caracterizados; por fim as propriedades de hidratação das farinhas integrais foram avaliadas por duas categorias de métodos, com e sem exposição a forças externas.

## 3.2 Material e métodos

### 3.2.1 Material

Amostras de grãos de três cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), BRS 374, ORS Vintecinco e TBIO Consistência, indicadas para produção de biscoitos no Brasil, foram cedidas pela Cooperativa Agrária Agroindustrial, localizada no município de Guarapuava, Estado do Paraná, Brasil.

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico.

### 3.2.2 Farinha de trigo integral

As farinhas integrais de trigo (FIT) foram obtidas pela moagem em diferentes etapas até a obtenção de FIT com três diferentes tamanhos de partículas. As FIT com tamanho de partícula fina (FTIF) e média (FTIM) foram obtidas pela moagem em moinho de laboratório de impacto (M20, IKA, Staufen, Alemanha) com velocidade fixa de 20.000 rpm por 180s e 100s, respectivamente e câmara de moagem arrefecida. Para a farinha integral grossa, com maior tamanho de partícula (FTIG), os grãos de trigo foram submetidos inicialmente ao processo de quebra no moinho de laboratório de rolos (CD1, Chopin, França), seguido pela moagem no moinho de impacto (IKA) por 4 s.

O tamanho médio das partículas das farinhas integrais foi determinado pelo método de difração a laser em determinador de tamanho de partícula (LV-950, Horiba, Japão), utilizando o módulo de dispersão seca. As farinhas integrais obtidas foram denominadas a partir do tamanho de partícula como: farinha de trigo integral fina (FTIF); farinha de trigo integral média (FTIM) e farinha de trigo integral grossa (FTIG).

Na Tabela 2 estão apresentadas as diferentes configurações utilizadas no processo de moagem e o tamanho médio das partículas obtidas para cada farinha integral e cultivar.

**Tabela 2.** Configurações utilizadas para produção das farinhas de trigo integrais com diferentes tamanhos de partículas e tamanho médio de partícula resultante.

Farinhas integrais	Configurações de moagem		
	Processo de quebra	Moagem de impacto	Tempo de moagem (s)
FTIF	-	x	180
FTIM	-	x	100
FTIG	x	x	4

Cultivares	Tamanho médio de partícula ( $\mu\text{m}$ )		
	FTIF	FTIM	FTIG
ORS Vintecinco	188,25	442,74	665,32
BRS 374	194,22	455,32	673,02
TBIO Consistência	200,21	432,41	686,74

Resultados expressos como média de três determinações. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa. Procedimento realizado (X) ou não realizado (-).

### 3.2.3 Teor de amido danificado

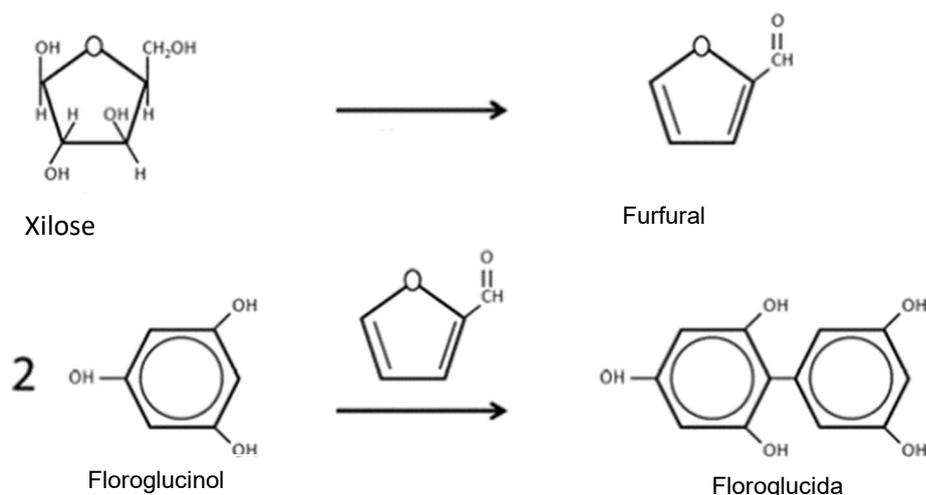
O teor de amido danificado das amostras de farinha foi determinado de acordo com o método nº 76-33.01 da AACCI (2010) em equipamento (SDmatic, Chopin, França).

### 3.2.4 Arabinoxilanas totais (TOT-AX) e extraíveis em água (EA-AX)

O método calorimétrico baseado em Douglas (1981) e Finnie, Bettge, e Morris, (2006) foi utilizado para determinar o conteúdo de arabinoxilanas totais (TO-AX) e arabinoxilanas extraíveis em água (EA-AX). O método é baseado na hidrólise dos arabinoxilanas a furfural. O furfural reage com o floroglucinol e forma floroglucida, uma solução colorida rosa-vermelho (KISZONAS, COURTIN e MORRIS, 2012). A reação é apresentada esquematicamente na Figura 7.

HCl

CH<sub>3</sub>OOH



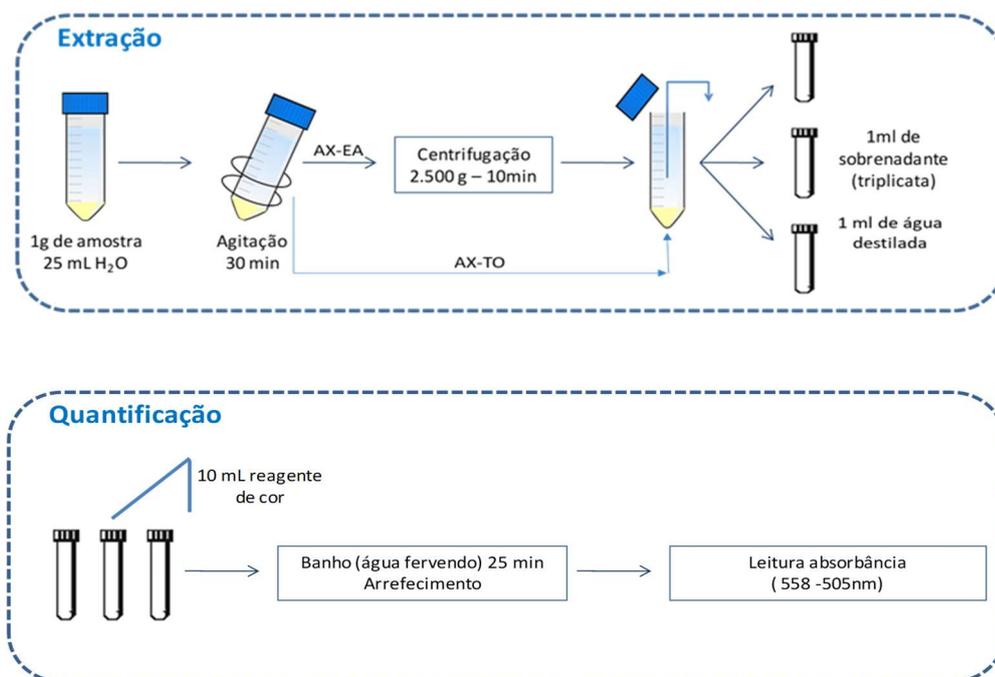
**Figura 7.** Esquema de reação da conversão de um monossacarídeo (xilose) em furfural e posterior reação com floroglucinol para produzir o precipitado colorido floroglucida.

HCl: **Ácido clorídrico**, CH<sub>3</sub>OOH: **Ácido Acético**.

Para o procedimento de análise foram pesadas 1g de cada amostra de farinha em tubos Falcon de 50 mL e a cada tubo, foram adicionados 25 mL de água destilada. Os tubos foram submetidos a mistura em vórtice e alíquotas de 1 mL em duplicata foram transferidos para novos tubos de Pyrex (fração para determinação de TOT-AX). O restante da amostra suspensa foi submetido à agitação em vortex durante 30 minutos e, na sequência centrifugadas durante 10 minutos a 2500 g (fração para determinação de EA-AX).

O procedimento padrão descrito por Douglas (1981) foi seguido. Alíquotas de 1 mL do sobrenadante, em triplicata, foram transferidas para tubos de ensaio com tampa e diluídas com adição de 1mL de água destilada e 10 mL do reagente de cor (110 mL de ácido acético glacial, 2 mL de ácido clorídrico, 5 mL de florucinol (20%) p/v em etanol, 1 mL de glicose (1,75%) p/v em água). As amostras foram submetidas a banho em água fervente durante 25 minutos. Posteriormente foram resfriadas em banho de gelo e ao abrigo da luz. A absorbância foi lida a 558 nm e 505 nm (KISZONAS et al., 2012) em espectrofotômetro UV-VIS (Biospectrometer Kinetic, Eppendorf, Alemanha). Para cada amostra o valor de absorbância em 558 nm foi subtraído do valor em 505 nm, tomando a diferença como valor absoluto. A concentração de arabinoxilanas (mg/mL) foi calculada a partir da curva padrão de xilose ( $R^2$ : 0,9994), preparada pela

diluição de diferentes concentrações de xilose em água destilada. O esquema do método utilizado está apresentado na Figura 8.



**Figura 8.** Esquema do método utilizado para determinação de arabinoxilanas em FTI.

### 3.2.5 Absorção de água no Farinógrafo

A absorção de água foi determinada utilizando em farinógrafo (Typ 820600, Brabender, Alemanha) de acordo com o método internacional AACC 54-21-01 (AACCI, 2010).

### 3.2.6 Capacidade de intumescimento

A capacidade de intumescimento das amostras de FTI com diferentes tamanhos de partícula foram determinadas conforme descrito por Jacobs et al. (2015). Em proveta graduada de 10 mL foram adicionadas 500 mg de amostra e 5 mL de água destilada. Após o tempo de imersão 60 minutos, a capacidade de expansão da amostra foi determinada com a leitura do volume ocupado na proveta.

### 3.2.7 Capacidade de retenção de solventes

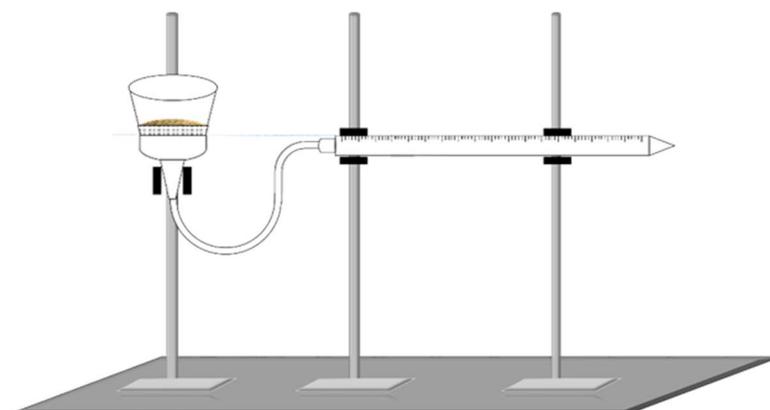
A capacidade de retenção de solventes (SRC) foi obtido de acordo com o método nº 56-11.02, da AACCI (2010), utilizando carbonato de sódio 5% (p/p), sacarose 50%

(p/p), ácido láctico 5% (p/p) e água destilada. Os valores foram expressos em base de umidade de 14,0% e calculados conforme equação 1.

$$\% SRC = \left[ \frac{\text{peso do tubo+gel}}{\text{peso da farin}} - 1 \right] \cdot \left[ \frac{86}{100 - \% \text{ umidade da farinha}} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

### 3.2.8 Cinética de absorção

A cinética de absorção das farinhas foi determinada utilizando o instrumento Enslin-Neff (ENSLIN, 1933) mostrado na Figura 9, que mede a taxa de absorção de água das amostras de farinha. Um funil de Büchner, com seção transversal de 51 mm, contendo um papel de filtro, foi conectado a uma pipeta graduada de 2,0 mL usando um tubo de borracha. A análise foi executada por aspensão de 50 mg de FTI no papel filtro com o menisco da água na pipeta posicionada na marca de 0 mL. A absorção de água foi então monitorada durante 30 minutos.



**Figura 9.** Instrumento Enslin-Neff utilizado para estudar a cinética de hidratação das amostras de farinha.

### 3.2.9 Delineamento experimental e análise estatística

O efeito combinado dos fatores cultivar e tamanho de partícula nas propriedades de hidratação das farinhas foi estudado neste experimento utilizando delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial 3 x 3 (cultivar x tamanho de partícula), totalizando 9 tratamentos, com três repetições cada um.

As determinações foram realizadas em triplicata (no mínimo) e os dados avaliados pela análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey com intervalo de confiança de 95%.

### 3.3 Resultados e discussão

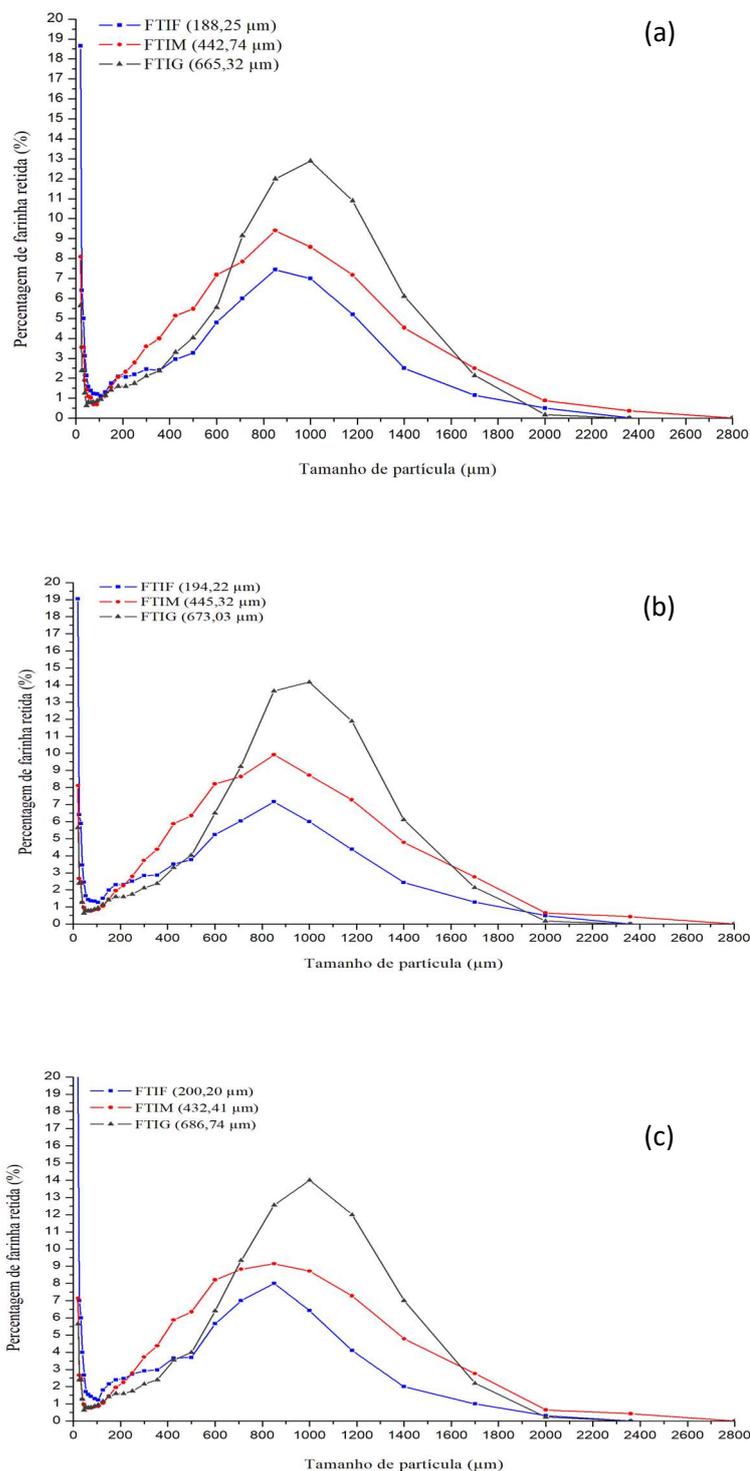
#### 3.3.1 *Distribuição de tamanho de partícula e diâmetro médio de partícula*

O perfil de distribuição do tamanho de tamanho de partícula e o tamanho médio das partículas das FTI obtidos com diferentes cultivares de trigo está mostrado na Figura 10. As farinhas elaboradas de cultivares diferentes apresentaram perfil de distribuição semelhante devido à padronização das condições de moagem utilizadas.

As farinhas integrais das cultivares ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência, classificadas como FTIG apresentaram perfil de distribuição com maior concentração das partículas de 710  $\mu\text{m}$  a 1400  $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de partícula de 675,12  $\mu\text{m}$ .

Nas amostras das cultivares ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência, classificadas como FTIM, 65,77, 70,64 e 70,07% das partículas, respectivamente, foram distribuídas no intervalo de 250  $\mu\text{m}$  e 1400  $\mu\text{m}$  e apresentaram diâmetro médio de partícula de 440,15  $\mu\text{m}$ .

As amostras das cultivares ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência, classificadas como FTIF apresentaram ampla distribuição, abrangendo a faixa entre 20 e 1400  $\mu\text{m}$ , sendo o diâmetro médio de partícula de 194,22  $\mu\text{m}$ .



**Figura 10.** Distribuição do tamanho de partícula das FTI com diferentes tamanhos de partículas e cultivares. Resultados expressos como média de três determinações. (a): cultivar ORS Vintecinco (b) cultivar BRS 374 (c) cultivar TBIO Consistência. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

### 3.3.2 Amido danificado

O aumento no tempo de moagem acarretou em aumento gradual no teor de amido danificado das amostras, sendo esse aumento mais intenso na farinha integral fina (FTIF, Tabela 3), independente do cultivar. Para cultivar TBIO Consistência foi observada diferença no teor de amido danificado de até 3,80% entre FTIF e FTIG com o aumento na duração do processo de moagem.

Os níveis de amido danificado em farinhas, depende do tamanho de partícula que se deseja obter, uma vez que a severidade da fricção e força de cisalhamento do moinho favorece a destruição da estrutura granular do amido, aumentando assim o teor de amido danificado (ANGELIDIS et al., 2016; PROTONOTARIOU et al., 2014).

Uma diferença significativa no teor de amido danificado entre as cultivares foi observado na farinha integral fina (FTIF) de TBIO Consistência. O genótipo de trigo influencia o teor de amido danificado devido a diferença de dureza dos grãos (DUYVEJONCK et al., 2012, TSILO et al., 2011). Segundo Yu et al. (2015) grãos de trigo com maior índice de dureza apresentaram maiores valores de amido danificado sob as mesmas condições de moagem, chegando a apresentar aumento de 1,8% para 3,4% para grãos com índice de dureza (ID) de 14 (muito mole) e 58 (semi-duro), respectivamente. Isso explica a diferença significativa na farinha integral fina (FTIF) do TBIO Consistência uma vez que este apresentou ID de 57 (semi-duro), enquanto ORS Vintecinco e BRS 374 apresentaram ID de 37 e 41, respectivamente (ambos na categoria semi-mole).

Os grãos de trigo com maior dureza requerem maior energia para serem quebrados e reduzidos durante a moagem para produção de farinha, levando a uma maior porcentagem de amido danificado. O nível de amido danificado pode afetar consideravelmente a qualidade da farinha e, portanto, o processo de fabricação de biscoitos. Valores mais elevados de amido danificado podem aumentar a absorção de água da farinha, alterando a viscosidade da massa uma vez que o amido danificado apresenta capacidade de reter água quatro vezes maior do que o amido nativo (KWEON et al., 2011).

Embora as farinhas avaliadas tenham apresentado teor de amido danificado na faixa de conteúdo típico (2 a 4%) para farinhas destinadas a produção de biscoito, não somente o teor de água retido é importante do ponto de vista tecnológico, mas também

a velocidade com que a absorção de água ocorre e quais são os fenômenos que estão envolvidos.

**Tabela 3.** Amido danificado e conteúdo de arabinoxilanas nas farinhas de trigo integrais (FTI) com diferentes tamanhos de partícula e cultivares.

Farinha integral	Cultivar de Trigo		
	ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO Consistência
Amido Danificado (%)			
FTIF	3,21 ± 0,04 <sup>Ab</sup>	3,17 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	3,95 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
FTIM	0,28 ± 0,07 <sup>Ba</sup>	0,21 ± 0,04 <sup>Ba</sup>	0,23 ± 0,01 <sup>Ba</sup>
FTIG	0,13 ± 0,01 <sup>Ca</sup>	0,14 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	0,15 ± 0,02 <sup>Ca</sup>
Arabinoxilanas Totais (mg/mL <sup>-1</sup> )			
FTIF	5,38 ± 0,18 <sup>Ab</sup>	11,01 ± 1,38 <sup>Aa</sup>	7,55 ± 1,29 <sup>Ab</sup>
FTIM	3,53 ± 0,42 <sup>Ba</sup>	5,37 ± 0,75 <sup>Ba</sup>	4,86 ± 1,08 <sup>Ba</sup>
FTIG	3,17 ± 1,15 <sup>Bb</sup>	4,83 ± 0,18 <sup>Ba</sup>	3,89 ± 0,69 <sup>Bab</sup>
Arabinoxilanas Extraíveis com Água (mg/mL <sup>-1</sup> )			
FTIF	1,59 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	1,46 ± 0,05 <sup>Ab</sup>	2,31 ± 0,22 <sup>Aa</sup>
FTIM	1,53 ± 0,05 <sup>ABba</sup>	1,19 ± 0,13 <sup>ABb</sup>	1,75 ± 0,23 <sup>ABa</sup>
FTIG	1,41 ± 0,10 <sup>Bab</sup>	1,08 ± 0,17 <sup>Bb</sup>	1,74 ± 0,22 <sup>Ba</sup>

\*Letras maiúsculas distintas na mesma coluna e minúsculas na mesma linha representam, diferença significativa entre tamanhos de partículas e cultivares, respectivamente, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

### 3.3.3 Arabinoxilanas totais (TOT-AX) e extraíveis com água (EA-AX)

As arabinoxilanas (AX), polissacarídeos não-amiláceos são componentes importantes da fibra alimentar que estão presentes no endosperma dos cereais (incluindo a camada de aleurona), paredes celulares, casca e farelo de trigo (FADEL et al., 2017b).

No presente estudo, o conteúdo de TOT-AX e EA-AX variaram nas faixas de 3,17 a 11,01 e de 1,08 a 2,31 (mg/mL), respectivamente (Tabela 3). O aumento no conteúdo de TOT-AX foi observado com a redução no tamanho de partícula das farinhas que pode ser atribuído a maior ruptura celular durante o processo de

moagem, que causa maior liberação dos polímeros ligados na parede celular. Da mesma forma, o maior conteúdo de EA-AX na farinha fina mostra que o impacto da moagem proporciona aumento na capacidade de extração, a maior área superficial da farinha aumenta as interações entre o polissacarídeo e o solvente.

Em estudos envolvendo condições diferenciadas de moagem e de tamanho de partícula de farinha branca e farinha integral também foi observado aumento no conteúdo de EA-AX (PROTONOTARIOU, MANDALA e ROSELL et al. 2015, LAZARIDOU, et al., 2018).

Embora EA-AX sejam conhecidas pelos benefícios a saúde humana, na panificação desempenham importante papel no balanço hídrico da massa, competem com outros constituintes da massa pela água presente no meio, influenciando na viscosidade, além disso, são capazes de se ligar à proteína e reforçar a rede de glúten (SAED et al., 2014, LANGÓ et al., 2018).

As propriedades de hidratação são fatores importantes na qualidade do uso final das farinhas, apesar de parecer vantajoso, na elaboração de biscoitos as TOT-AX e EA-AX podem afetar negativamente o produto final, uma vez que baixa absorção de água e pouco desenvolvimento de glúten são características desejadas. Além das alterações tecnológicas na massa, o aumento de EA-AX na farinha também proporciona mudanças nos parâmetros de qualidade dos biscoitos, como a redução do diâmetro (BETTGE e MORRIS, 2007).

Pouco é conhecido sobre a relação do conteúdo de arabinoxilanas em trigos brasileiros. No presente trabalho, a cultivar TBIO Consistência apresentou maior conteúdo de EA-AX para os três tamanhos de partícula avaliados, seguida das cultivares ORS Vintecinco e BRS 374. O conhecimento do conteúdo de AX é de extrema importância, uma vez que pode auxiliar, juntamente com as técnicas de moagem na produção de farinhas integrais com características tecnológicas desejáveis para elaboração de biscoitos.

### *3.3.4 Propriedades de hidratação*

#### *3.3.4.1 Absorção de água no farinógrafo*

As farinhas de menor tamanho de partícula apresentaram maior absorção de água para as três cultivares de trigo avaliadas (Tabela 4). A absorção de água chegou a variar 7,9%, 8,9% e 6,8% entre as farinhas de tamanho fino e grosso para as cultivares ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência respectivamente.

Esse efeito pode ser atribuído a maior área de superfície de contato nas amostras de menor tamanho de partícula, fato que proporciona maior exposição dos grupos hidroxila presentes na estrutura da fibra e, conseqüentemente, maiores interações com a água através das ligações de hidrogênio (SANZ PENELLA, COLLAR e HAROS, 2008). Assim, as ligações relativamente fortes com a água são decorrentes de efeitos a nível molecular. Essa tendência está de acordo com as observações realizadas por BRESSIANI et al. (2017) avaliando as propriedades da FTI e seu desempenho em produtos de panificação em função do tamanho das partículas da FTI.

Jacobs et al. (2015) ao avaliarem as propriedades de hidratação do farelo de trigo observaram que o farelo pode apresentar forte ligação com a água a nível molecular através de pontes de hidrogênio ou através de nanoporos presentes na matriz do farelo, como também pode se ligar à água de forma mais fraca pelos microporos e/ou através do fenômeno de empilhamento. Uma vez que as amostras de farinha integral fina do presente estudo foram reduzidas até 194,22 µm de diâmetro médio de partícula, possivelmente a grande maioria dos nanoporos permaneceram intactos no farelo, proporcionando assim ações de absorção via capilaridade.

A FTI de BRS 374 apresentou os maiores índices de absorção de água nos três tamanhos de partícula avaliados, seguida de TBIO Consistência e de ORS Vintecinco (Tabela 4). Esses valores são dependentes da quantidade de TO-AX do farelo diretamente relacionado com a cultivar, uma vez que a cultivar do trigo influencia na quantidade de AX do farelo. A cultivar ORS Vintecinco com o menor conteúdo de TOT-AX, também apresentou a menor absorção de água para os três tamanhos de partícula avaliados, demonstrando a importância da cultivar nas características da farinha e, conseqüentemente, na panificação. Estudos indicam que cultivares com maior índice de dureza de grão produzem farinhas com maior proporção de partículas grossas, o que resulta em maior absorção de água e menor fator de expansão em *cookies* (KAUR et al., 2014).

#### 3.3.4.2 Capacidade de intumescimento

Para avaliar a contribuição da água fracamente ligada nas FTI, as propriedades de hidratação foram estudadas através da capacidade de intumescimento. A redução no tamanho das partículas apresentou diminuição da capacidade de intumescimento (Tabela 4). Esse fenômeno pode ser atribuído a menor alteração na matriz do farelo

das farinhas com maior tamanho de partícula, nas quais os microporos são mantidos de forma mais intacta (JACOBS et al., 2015; JACOBS et al., 2016). Desta forma, os resultados demonstraram que com aumento na severidade de moagem, a destruição dos tecidos do farelo favorece a redução dos microporos, reduzindo assim a inclusão de água nos capilares.

Quando comparadas entre os cultivares, a FTI de TBIO Consistência foi a que apresentou maior capacidade de intumescimento para os três tamanhos de partícula avaliados (Tabela 4). Isso pode estar relacionado ao maior índice de dureza do grão, que proporciona microestrutura mais porosa, e assim aumenta a capacidade de intumescimento através da presença dos nanoporos em maior tamanho. Além disso, tanto o amido danificado, como o conteúdo de EA-AX apresentaram-se maiores para a FTI de TBIO Consistência (Tabela 2) contribuindo para maior capacidade de intumescimento.

#### 3.3.4.3 Capacidade de retenção de solventes

O teste de capacidade de retenção de solventes (SRC) quantifica o comportamento de intumescimento dos polímeros de farinha, ou seja, sua capacidade de reter cada um dos quatro solventes empregados pelo método. Os valores de SRC estão apresentados na Tabela 4.

Os valores de SRC da água indicam a capacidade de retenção de água aportada pelos componentes funcionais da farinha, os quais incluem proteína do glúten, amido danificado e arabinoxilanas (KWEON et al., 2011).

Para o SRC solvente água, os valores apresentaram variação na faixa de 68.32 a 105.51%, com impacto significativo do tamanho das partículas. Entre as amostras avaliadas, as FTIM apresentaram maior absorção para este solvente, seguida das FTIG e FTIF, respectivamente, para três cultivares estudadas. Este comportamento demonstra a complexidade de interações que podem ocorrer devido à presença das camadas externas do grão na farinha e a influência destas a nível molecular e físico. Embora as propriedades específicas das farinhas, como amido danificado e EA-AX sejam importantes no processo de interação com a água, nesta avaliação os níveis destes constituintes não foram significativos para o comportamento de absorção de água observado. Conforme discutido no item de capacidade de intumescimento, a absorção de água por microporos pode explicar este comportamento.

Entre as cultivares, a FTI de BRS 374 foi a que apresentou menor capacidade de absorção de água, seguida de ORS Vintecinco e TBIO consistência. Em geral, a farinha integral com menor capacidade de retenção de água requer menos adição de água para elaboração da massa na consistência ideal, conseqüentemente, menos tempo de processo é necessário para sua remoção. Assim, considerando os valores mais baixos de SRC-água das farinhas integrais com maior tamanho de partícula, estas sugerem ser melhor adequadas para produção de biscoitos integrais.

O solvente ácido láctico (SRC-AL) está associado às características de glutenina e relacionado a força de glúten da farinha, pois o pH abaixo de 7 favorece o intumescimento e a formação de rede de glúten em relação aos polissacarídeos (GAINES, 2000 e KWEON et al., 2011), ou seja, indica a funcionalidade do glúten da farinha (NAIFU, et al., 2016).

Os valores de SRC-AL das farinhas integrais grossas foram significativamente superiores as farinhas de menor tamanho de partícula (fina e média), independente da FTI da cultivar estudada (Tabela 3). A FIT de TBIO Consistência apresentou os maiores valores para este solvente, independentemente do tamanho de partícula, indicando maior força de glúten.

Wang et al., (2016) sugeriram que as partículas de farelo podem interferir na medida precisa do SRC-AL devido ao intumescimento fácil do farelo na presença do solvente. Entretanto os resultados deste estudo sugerem que, assim como demonstrado por Wang et al. (2003) e Noot et al. (2010), a interação fibra/proteína pode causar maior enfraquecimento do glúten à medida que as partículas de farinha integral foram reduzidas, fato associado ao aumento de superfície de contato e maior exposição dos compostos presentes no farelo, causando maior solubilidade das proteínas em farinhas finas e médias.

A aplicação dos resultados de SRC-AL das farinhas e sua correlação com o desempenho do cozimento dos biscoitos precisa considerar as diferentes aplicações (tipos de biscoitos). No que diz respeito a funcionalidade da farinha destinada para *cookies*, menores contribuições funcionais de SRC-AL são desejáveis, garantindo assim menor formação da rede de glúten durante a mistura e cozimento, o que leva a um colapso estrutural do biscoito, produzindo assim *cookies* com os padrões de qualidade desejados, com maior diâmetro e menor espessura (SLADE et al., 1993).

O solvente carbonato de sódio (SRC-CS) está relacionado ao teor de amido danificado da farinha. Na presença da solução de carbonado de sódio com elevado

pH (GAINES, 2000), acima do  $pK_a$  dos grupos hidroxila do amido, a solvatação do amido danificado é facilitada (HAN e LIM, 2004).

Conforme apresentado na Tabela 3, a redução no tamanho das partículas da FTI aumentou a capacidade de absorção deste solvente, exceto para a FTI de TBIO Consistência.

O solvente sacarose (SRC-SAC) simula o ambiente funcional na massa de biscoito de alto teor de açúcar e fornece uma indicação do teor de arabinoxilanas na farinha (GAINES, 2000). Desta forma, baixos valores de SRC-SAC são desejáveis para farinha de biscoito de boa qualidade.

Apesar dos maiores valores de AX ter sido encontrados nas farinhas integrais com menor tamanho de partículas, o SRC-SAC das farinhas grossas foram relativamente maiores em relação as farinhas finas e médias (Tabela 4). Esta observação pode ser devida as dificuldades apresentadas pelo método de SRC quando o farelo está presente no meio. Souza, Guttieri e Sneller (2011) avaliando parâmetros preditivos de qualidade de farinha integral para produção de biscoitos também relataram dificuldades operacionais, resultando em baixas correlações com os resultados da farinha refinada.

Entre as farinhas integrais das cultivares estudadas, as de TBIO Consistência foram as que apresentaram os valores de SRC-SAC mais elevados, fato que está correlacionado aos maiores teores de EA-AX encontrados para esta cultivar.

De modo geral, para considerar a aplicação das farinhas destinadas a produção de biscoitos através da análise de SRC é preciso considerar o perfil de SRC (conjunto de todos os solventes), permitindo assim a contribuição dos componentes funcionais na funcionalidade geral da farinha. Um perfil de SRC foi definido por Kweon, Slade e Levine (2011) para farinhas refinadas destinadas a elaboração de *cookies* com valores de SRC-AL  $\geq 87\%$ , SRC-CS  $\leq 64\%$ , SRC-SAC  $\leq 89\%$  e SRC-água  $\leq 51\%$ . No entanto, o perfil de SRC para farinhas de trigo integral ainda não foi estabelecido, e, considerando que a FTI apresenta todos as frações do grão de trigo, os padrões de SRC podem ser diferentes da farinha refinada. Além disso, uma vez que diferentes tamanhos de partículas apresentam variações nas frações de AX e AD, esse fator pode alterar significativamente esse perfil.

Wang et al. (2016) mediram a SRC da farinha integral de duas cultivares de trigo dos EUA e demonstraram que para SRC-água e SRC-CS as farinhas integrais apresentaram valores consideravelmente maiores em relação as farinhas refinadas.

E ao contrário, para o solvente SRC-AL os valores foram reduzidos na farinha integral. No mesmo estudo os autores apresentaram perfil de SRC para a farinha integral de menor tamanho de partícula estudada (89,9 e 95,6  $\mu\text{m}$ ) de SRC-água entre 72,1 e 73,2%, SRC-CS entre 91,9 e 88,7% e SRC-AL entre 74,1 e 77,3%. Tendência semelhante foi observada no presente estudo para estes mesmos solventes para as farinhas de menor tamanho de partícula.

A avaliação de uma farinha apta a elaboração dos biscoitos está relacionada não somente com a capacidade de absorção de água, mas também com a maneira como cada componente da matriz comporta-se e interage com a água. Desta forma, as análises tradicionais como farinografia podem induzir a resultado menos confiável quando o produto a ser elaborado apresenta comportamento tão complexo em relação a absorção da água, principalmente no que se refere a utilização de farinha integral de trigo (farinha de grão inteiro).

**Tabela 4.** Propriedades de hidratação das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares.

Farinha integral	Cultivar de trigo			Farinha integral	Cultivar de trigo		
	ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO Consistência		ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO Consistência
Absorção de água - Farinografia (%)				Capacidade de intumescimento (cm <sup>3</sup> /g)			
FTIF	67.0 ± 0.05 <sup>Ac</sup>	69,2 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	67,4 ± 0,10 <sup>Ab</sup>	FTIF	2.33 ± 0.12 <sup>Cb</sup>	2.46 ± 0.12 <sup>Bb</sup>	3.06 ± 0.12 <sup>Ca</sup>
FTIM	62.5 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	66,6 ± 0.09 <sup>Aa</sup>	64,1 ± 0.03 <sup>Bab</sup>	FTIM	2.73 ± 0.23 <sup>Bb</sup>	2.66 ± 0.23 <sup>Bb</sup>	3.60 ± 0.12 <sup>Ba</sup>
FTIG	62.1 ± 0.17 <sup>Cc</sup>	63,5 ± 0.07 <sup>Ba</sup>	63,1 ± 0.14 <sup>Cb</sup>	FTIG	3.13 ± 0.12 <sup>Ab</sup>	3.46 ± 0.20 <sup>Ab</sup>	4.40 ± 0.20 <sup>Aa</sup>
SRC – Água (%)				SRC – Ácido Láctico (%)			
FTIF	68.32 ± 1.20 <sup>Cb</sup>	69.50 ± 0.15 <sup>Bb</sup>	73.51 ± 0.70 <sup>Ca</sup>	FTIF	71.94 ± 0.70 <sup>Bb</sup>	70.14 ± 0.71 <sup>Bc</sup>	75.46 ± 0.07 <sup>Ca</sup>
FTIM	85.76 ± 0.20 <sup>Ab</sup>	80.23 ± 1.56 <sup>Ac</sup>	105.51 ± 1.39 <sup>Aa</sup>	FTIM	67.83 ± 0.25 <sup>Cc</sup>	70.82 ± 1.13 <sup>Bb</sup>	83.44 ± 0.32 <sup>Ba</sup>
FTIG	77.61 ± 0.65 <sup>Bb</sup>	70.63 ± 1.55 <sup>Bc</sup>	101.13 ± 1.57 <sup>Ba</sup>	FTIG	84.57 ± 0.19 <sup>Ab</sup>	86.00 ± 1.57 <sup>Ab</sup>	113.14 ± 0.99 <sup>Aa</sup>
SRC – Carbonato de Sódio (%)				SRC – Sacarose (%)			
FTIF	83.03 ± 0.60 <sup>Ac</sup>	92.28 ± 0.75 <sup>Aa</sup>	90.99 ± 0.98 <sup>Bb</sup>	FTIF	103.81 ± 3.64 <sup>Ba</sup>	100.62 ± 2.44 <sup>Ca</sup>	100.50 ± 4.16 <sup>Ba</sup>
FTIM	77.63 ± 0.64 <sup>Bb</sup>	77.25 ± 0.11 <sup>Bb</sup>	79.75 ± 0.77 <sup>Ca</sup>	FTIM	103.05 ± 2.89 <sup>Bc</sup>	112.05 ± 2.62 <sup>Bb</sup>	121.41 ± 1.01 <sup>Aa</sup>
FTIG	78.83 ± 0.46 <sup>Bb</sup>	75.08 ± 0.89 <sup>Cc</sup>	99.84 ± 0.70 <sup>Aa</sup>	FTIG	117.50 ± 1.61 <sup>Ab</sup>	123.05 ± 1.35 <sup>Aa</sup>	127.09 ± 2.28 <sup>Aa</sup>

\*Letras maiúsculas distintas na mesma coluna e minúsculas na mesma linha representam diferença significativa entre tamanhos de partículas e cultivares, respectivamente, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

### 3.3.5 Cinética de absorção

Os perfis cinéticos de hidratação das FTI com diferentes tamanhos de partículas e cultivares estão apresentados na Figura 11. A cinética mostra que o fator tamanho de partícula proporcionou alteração nas taxas de absorção de água em diferentes proporções durante os 30 minutos de teste. As farinhas integrais grossas, independente da cultivar de trigo da qual foi obtida, apresentaram as maiores taxas de absorção quando comparadas as farinhas integrais finas e médias.

Após 15 minutos de teste a quantidade de água absorvida pelas farinhas integrais com maior tamanho de partícula, apresentaram acréscimos de 5,51%, 17,11% e 9,7% para cultivar ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência, respectivamente. A redução na absorção de água com o decréscimo no tamanho de partículas, diferente da tendência observada na farinografia, demonstra a menor influência específica da área superficial nas taxas de absorção avaliadas pela cinética.

Esta mudança no comportamento de hidratação das farinhas aponta que a ligação à água na ausência de forças externas, pode ser regida por diferentes mecanismos, como a absorção por capilaridade (CHAPLIN, 2003; THEBAUDIN et al., 1997). Com a maior redução do tamanho das partículas a estrutura da parede celular do farelo, a qual é representada por micro e nanoporos, também é reduzida, e está diferença provavelmente explica os menores valores de absorção de água encontrados nas amostras de FTI finas.

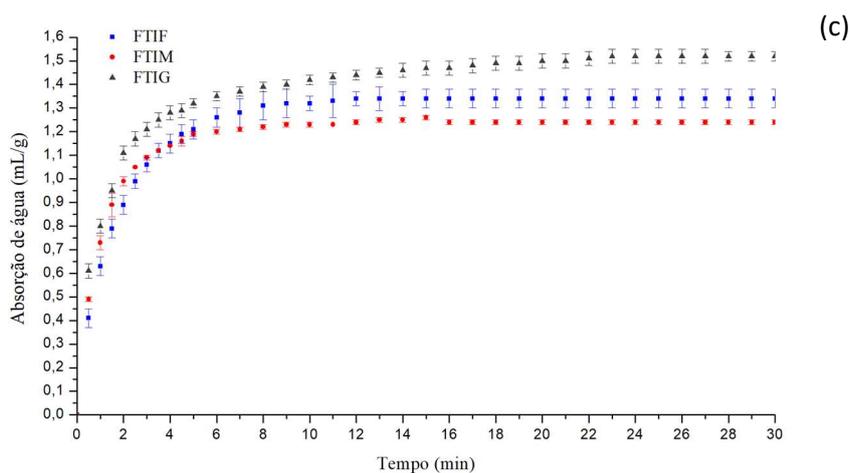
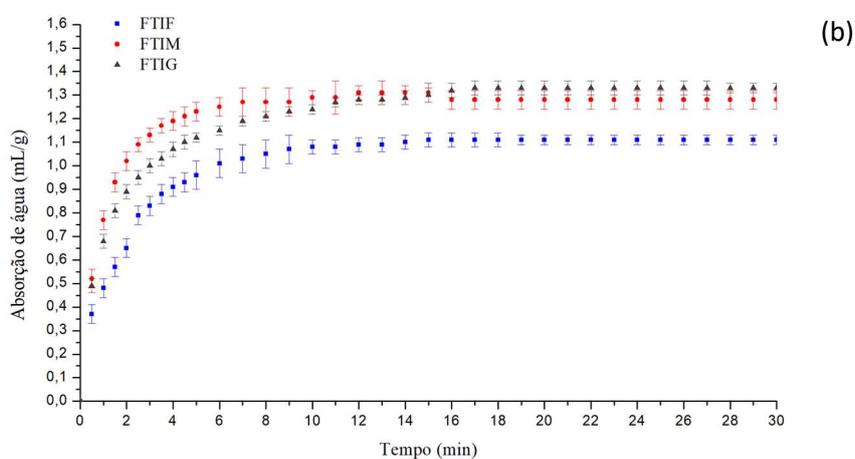
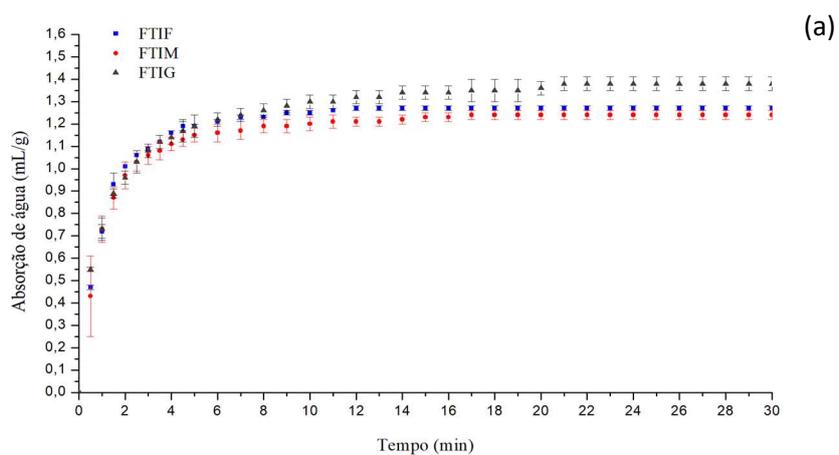
Outros estudos avaliando a absorção de água na ausência de força externas para farelo de trigo também observaram redução na taxa de hidratação de Enslin-Neff para partículas menores (CAPREZ et al. 1986; JACOBS et al. 2015). Entretanto, não há relatos da avaliação nas taxas de hidratação para farinhas elaboradas pela moagem inteira dos grãos de trigo sobre a influência de diferentes tamanhos de partículas e de diferentes cultivares. Partículas maiores também apresentaram longo período de absorção de água antes de se estabilizarem chegando a diferença de 11 minutos até atingir o equilíbrio quando comparado a farinha de menor tamanho de partícula na FTI obtida da cultivar TBIO Consistência.

Em relação as cultivares, os perfis da cinética de absorção demonstraram aumento da taxa de hidratação para TBIO Consistência do início ao final do período do teste, para os três tamanhos de partícula estudados (Figura 12 c). Para a FTI de TBIO Consistência grossa os ganhos nas taxas de hidratação apresentaram acréscimo de 14,28% e 10,14% no estado de equilíbrio, quando comparado às

farinhas integrais grossas das cultivares BRS 374 e ORS Vintecinco, respectivamente. A forte correlação positiva ( $R^2$ : 0,99) entre taxa de absorção e conteúdo de EA-AX (Tabela 2) nas farinhas grossas sugerem que, além da contribuição na absorção pela porosidade das camadas externas, a ligação com a água também pode ocorrer em nível molecular. Isso ocorre porque a elevada capacidade de ligação com a água atribuída as AX, maior constituinte da fração insolúvel da fibra alimentar presente no farelo de trigo, está relacionada à ligação de hidrogênio das moléculas de água a grupos OH na cadeia do polímero (WANG et al., 2002).

Com base nessas observações, pode-se concluir que dois fenômenos podem estar envolvidos na capacidade de absorção de água das FTI, a absorção por capilaridade e via molecular. Os resultados também mostraram que a severidade no processo de moagem pode reduzir as taxas de absorção sobre esta condição de avaliação.

As avaliações realizadas no equilíbrio demonstraram que fenômenos relacionados a porosidade (nano e micro poros) parecem governar a hidratação e são maiores para as farinhas integrais de maior tamanho de partícula. Portanto, os resultados comprovaram que os mecanismos que governam a hidratação da FTI são influenciados pelas propriedades específicas de cada método, os quais permitem abordar uma visão integrada da interação da FTI com a água.



**Figura 11.** Análise da cinética de hidratação das FTI com diferentes tamanhos de partículas e cultivares. Resultados expressos como média de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa. ORS Vintecinco (a). BRS374 (b). TBIO Consistência (c).

### 3.3.6 Efeitos do tamanho de partícula (TP), cultivar (C) e interação entre TP e C (TP x C) na composição da farinha e propriedades de hidratação

Alta variabilidade na composição da farinha (amido danificado e conteúdo de arabinoxilanas) e nas propriedades de hidratação foram encontradas devido aos fatores individuais (TP, C) e suas interações (Tabela 5). Na maioria dos casos os fatores individuais foram os que mais contribuíram para a variância total.

**Tabela 5.** Análise de variância para as propriedades físico-químicas e de hidratação, das farinhas de trigo integral com diferentes tamanhos de partícula e cultivares

		Fontes de variação					
		Tamanho de Partícula (TP)	Cultivar (C)	TP x C	Total	C.V (%)	
GI	Farinhas	Quadrado médio-----	2	2	4	26	
AD			63.48**	0.39**	0.77**	26	2.93
TOT-AX			41.13*	21.40*	4.23*	26	16.77
EA-AX			0.35*	1.09*	0.05 <sup>ns</sup>	26	10.00
AAF			58.55**	15.22**	1.81*	26	1.07
CI			2.51*	2.41*	0.07**	26	5.09
SRC-AL			1366.04*	719.21*	143.17*	26	0.87
SRC-CAR			393.40*	203.20*	188,21*	26	0.84
SRC-SAC			982.74	152.17*	90.50*	26	2.44
SRC-Água			926.29*	1008.43	154.78*	26	1.36

GI: Graus de liberdade. AD: Amido Danificado (%). TOT-AX: Arabinoxilanas totais (mg/mL1). EA-AX: Arabinoxilanas extraíveis em água (mg/mL1). AAF: Absorção de água farinografia (%). CI: Capacidade de Intumescimento (cm<sup>3</sup>/g). SRC-AL: Capacidade de retenção de solventes – Ácido Lático (%). SRC-CAR: Capacidade de retenção de solventes – Carbonato de Sódio (%). SRC-SAC: Capacidade de retenção de solventes - Sacarose (%). SRC- Água: Capacidade de retenção de solventes -.Água (%). \* e \*\*. Significativo nos níveis de probabilidade 0,01 e 0,05, respectivamente. ns: não significativo.

### 3.3.7 Teor de amido danificado e conteúdo de arabinoxilanas

Os fatores individuais tamanho de partícula (TP), cultivar (C) e interação TP x C apresentaram efeitos significativos no teor de amido danificado das farinhas ( $p < 0,05$ ), como pode ser observado na Tabela 5.

Com base na proporção dos quadrados médios (Q.M), o fator TP (Q.M 63,48) contribuiu para maior variação no amido danificado, com menor influência do fator C (M.S 0,77) e interação TP x C (Q.M 0,39). Por exemplo, a FTIF apresentou o maior teor de amido danificado para as três cultivares de trigo utilizadas. A contribuição significativa da interação dos fatores TP x C para a resposta teor de amido danificado indica que este parâmetro não é influenciado apenas pelo processo de moagem, mas também por características genotípicas das cultivares.

Os dados deste estudo indicam que pode ser possível controlar os teores de amido danificado da FTI selecionando as condições de moagem para obter diferentes granulometrias e empregando cultivares com vários índices de dureza de grão.

A variabilidade obtida nos valores de TOT-AX ( $p < 0,01$ ) foi influenciada principalmente pelo fator TP (Q.M 41,12), seguida pelo fator C (Q.M 21,40) e com menor influência da interação TP x C (Q.M 4,23). De forma contrária, para EA-AX, o fator C foi o principal responsável pela variabilidade encontrada e a interação entre TP e C não apresentou influência significativa (Tabela 5).

#### 3.3.7.1 Propriedades de hidratação

A absorção de água por farinografia foi influenciada de forma significativa pelo fator TP (Q.M: 58,55;  $p < 0,05$ ), contudo, a cultivar, em menor proporção que o fator TP, também mostrou efeito individual nos índices de absorção. O efeito da cultivar, tamanho de partícula e sua interação proporcionaram efeito significativo similar ( $p < 0,01$ ) para a capacidade de intumescimento.

Os parâmetros de SRC foram significativamente influenciados pelos fatores individuais TP e C, como também pela interação entre eles TP x C. Entretanto, o efeito do fator TP apresentou a maior influência na SRC-AL, SRC-CS e SRC-SAC.

### 3.4 Conclusão

Os fatores tamanho de partícula e cultivar, bem como a interação entre eles podem afetar significativamente as propriedades de hidratação da farinha de trigo integral (FTI). Com diferentes níveis de variação, os fatores individuais foram os que mais contribuíram para a variância total. O fator tamanho de partícula apresentou efeito mais forte sobre o teor de amido danificado, conteúdo total de arabinosilanas, absorção de água avaliada na farinografia e parâmetros de perfil de SRC, enquanto que o fator cultivar afetou de forma mais significativa as arabinosilanas extraíveis em água. Assim, considerando que as diferenças no comportamento de hidratação podem levar a FTI a apresentar diversidade nas propriedades funcionais, tais como propriedades de desempenho de massa e atributos de qualidade dos produtos finais, demonstramos que os atributos de qualidade da FTI elaborada pela moagem inteira dos grãos em relação as propriedades de hidratação podem ser previstas através da seleção antecipada da cultivar e com base na distribuição granulométrica das partículas durante o processo de moagem.

Com base neste estudo, a FTI com perfil genotípico de menor concentração de arabinosilanas totais, menor teor de amido danificado e maior tamanho de partícula (665,32  $\mu\text{m}$ ) foi obtida pela cultivar ORS Vintecinco, que apresentou as melhores propriedades de hidratação, desempenho e qualidade desejada para biscoitos integrais. Além disso, os resultados comprovaram que é difícil prever as propriedades de hidratação da FTI destinada à produção de biscoitos com apenas uma técnica analítica, uma vez que a presença das camadas externas do grão promovem mecanismos diferenciados de capacidade de absorção de água. Através dos princípios diferenciados de absorção de água dos métodos utilizados, com e sem exposição de forças externas, foi possível obter uma visão integrada da interação dos constituintes da FTI com a água e explicar algumas das observações contraditórias existentes na literatura quando avaliado o comportamento do farelo.

Prevê-se que as conclusões fornecidas neste estudo possam ser usadas como informações visando o melhor controle das propriedades de hidratação da FTI e da qualidade dos produtos de panificação.

#### **4 Capítulo 2 – Artigo a ser submetido**

**Atributos de qualidade da farinha de trigo integral destinada a produção de biscoitos: efeito do tamanho de partícula, da cultivar e sua interação**

Artigo escrito para o periódico *Food Science and Technology*

Qualis 2012-2016 em Ciência de Alimentos: A1

Fator de impacto: 3,714

ISSN 0023-6438

## Resumo

O efeito do tamanho de partícula (TP), cultivar (C) e suas interações (TP x C) sobre os atributos de qualidade da farinha de trigo integral (FTI) e de biscoitos tipo *sugar snap cookies* foram estudados em amostras de farinha de trigo integral (FTI) destinadas a produção de biscoito. Três cultivares de trigo brasileiro e produzidas através de diferentes condições de moagem, resultando em diâmetro médio de partículas variando de 194,22 µm, 440,15 µm e 675,12 µm (fina, média e grossa). As farinhas foram avaliadas quanto as características físico-químicas, propriedades de mistura e, de pasta. Nos *cookies*, avaliações quanto às características físicas e de armazenamento foram determinadas. Para ambas as cultivares avaliadas, o teor de amido danificado, absorção de água, capacidade de agregação do glúten e viscosidade máxima da FTI demonstraram maior influência do fator individual TP, aumentou gradualmente com a redução no tamanho de partícula. Conseqüentemente, os biscoitos produzidos com FTI de menor tamanho de partícula apresentaram menor diâmetro e menor fator de espalhamento, fato relacionado a maior consistência da massa obtida com a moagem mais intensa. A dureza dos *cookies* foi correlacionada positivamente com a capacidade de agregação do glúten, fenômeno evidenciado pelo aumento da dureza com a redução no fator de propagação. *Cookies* elaborados com FTIG (675,12 µm) apresentaram menor dureza e maior Aw após o armazenamento de 30 dias. As cultivares demonstraram performance diferenciada entre os tamanhos de partícula, ORS Vintecinco apresentou o melhor desempenho para FTIG.

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

## 4.1 Introdução

O crescente número de consumidores mais esclarecidos quanto ao papel da alimentação em sua saúde vem estimulando a indústria a desenvolver alimentos reformulados em relação aos seus similares convencionais e que detenham alguma melhora nutricional. Esse aumento da atenção do consumidor aos benefícios à saúde por meio dos alimentos proporcionou a farinha de trigo integral (FTI) considerável atenção e importância como ingrediente na panificação. A FTI, obtida através da moagem do grão integral, mantém em sua composição todos os componentes anatômicos do grão, nas mesmas proporções como existem na forma intacta (endosperma, farelo e gérmen), fato que a caracteriza como excelente fonte de ingredientes nutricionais e funcionais (WEAVER, 2001). Quando comparada à farinha de trigo refinada (FTR), a FTI contém níveis mais altos de vitaminas, minerais, fibras, e compostos fitoquímicos (SLAVIN, 2004; ZHOU, SU & YU, 2004; TEBBEN et al., 2018).

Os biscoitos doces estão entre os produtos de panificação que apresentam grupo diverso de variedades, além disso, representam um dos lanches mais consumidos no mundo. Entre as variedades de biscoitos, o tipo *cookie* apresenta tendência crescente de consumo, sua natureza pronta para ingestão, baixo custo, alto prazo de validade e amplo consumo por todas as faixas proporciona características atrativas para servir como transportador de constituintes que proporcionem melhora nutricional (DEVI e KHATKAR, 2016). Neste contexto, a substituição do principal contribuinte do conteúdo de carboidratos dos biscoitos tipo *cookie*, que é a FR pela FTI pode reduzir o impacto desses lanches em problemas de sobrepeso e obesidade, bem como estimular o consumo de produtos integrais (CARNELL et al., 2017). No entanto, apesar do efeito benéfico da FTI, sua aplicação proporciona alterações nas propriedades da massa, parâmetros de processamento e na qualidade do produto final, levando a uma menor aceitação do consumidor. O *cookie*, de forma particular, apesar de ser caracterizados por um sistema simples, composto basicamente por farinha, gordura, açúcar, e água, apresenta uma estrutura de massa complexa, na qual cada ingrediente da formulação desempenha papel fundamental. Quando o sistema é submetido a variações, os parâmetros de qualidade tecnológica são comprometidos.

As alterações nas propriedades observadas com a utilização da FTI são o resultado de interações entre os componentes da farinha (principalmente glúten) e os componentes químicos do farelo, como fibras alimentares, fenólicos, antioxidantes, compostos sulfidril de baixo peso molecular e enzimas (KHALID et al., 2017, NOORT et al., 2010) ou propriedades físicas do farelo, como capacidade de retenção de água (WRC) e tamanho de partícula de farelo (JACOBS et al., 2015). A composição do farelo varia entre diferentes cultivares de trigo e ambientes de cultivo (HOSSAIN et al., 2013, CAI et al., 2014). Além disso, devido à diferente distribuição de componentes químicos entre as camadas de farelo, o desempenho da moagem pode influenciar significativamente a composição química do farelo, influenciando assim na funcionalidade de FTI (HEMDANE et al., 2016a e HEMDANE et al., 2016b).

Embora exista na literatura muitos estudos relacionados a influência do farelo na qualidade dos biscoitos, permanece a lacuna de pesquisa quanto a avaliação simultânea dos efeitos do tamanho de partícula e cultivar da FTI produzida pela moagem inteira dos grãos de trigo, bem como suas interações sobre a qualidade de biscoitos tipo *cookie*. A maioria dos estudos são relacionados ao tamanho de partícula do farelo usado em diferentes níveis de reincorporação. Gujral et al. (2003) investigando o efeito da substituição da farinha de trigo com farelo de trigo em diferentes níveis, demonstraram que o farelo aumentou a coesividade e adesividade da massa reduzindo o fator de espalhamento. Sudha, Vetrmani e Leelavathi (2007) também encontraram redução no fator de propagação após a incorporação de farelo de cevada, arroz e trigo à farinha de trigo. Sozer et al. (2014) produziram biscoitos com 5-15% de farelo de trigo grosseiro e fino e demonstraram que a redução do tamanho de partícula de farelo aumentou a dureza do biscoito. Protonotariou et al. (2016) avaliando se a redução no tamanho das partículas da farinha de trigo integral poderia ser considerada como um processo eficaz para produzir biscoitos com altos níveis de substituição de farinha integral, demonstraram que a viscosidade da massa aumentou à medida que a quantidade de farinha de trigo integral micronizada aumentou, e conseqüentemente a dureza dos biscoitos aumentou. De forma contrária, Wang et al. (2016) demonstraram que a redução no tamanho de partícula do farelo pode ser uma alternativa eficaz para melhorar a qualidade de biscoitos integrais.

Até o momento, não há relatos de estudos específicos sobre as propriedades de da FTI elaborada pela moagem inteira dos grãos de trigo destinada a produção de biscoitos, especialmente abrangendo fatores específicos de moagem e características

genotípicas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos simultâneos do tamanho de partícula e cultivar, bem como suas interações sobre os atributos de qualidade da FTI e dos biscoitos. Neste propósito, a farinha foi caracterizada quanto a capacidade de agregação do glúten, propriedades de mistura e de pasta. Para fim de avaliação da qualidade dos biscoitos tipo *cookie* foram avaliadas propriedades físicas e tempo de armazenamento.

## 4.2 Material e métodos

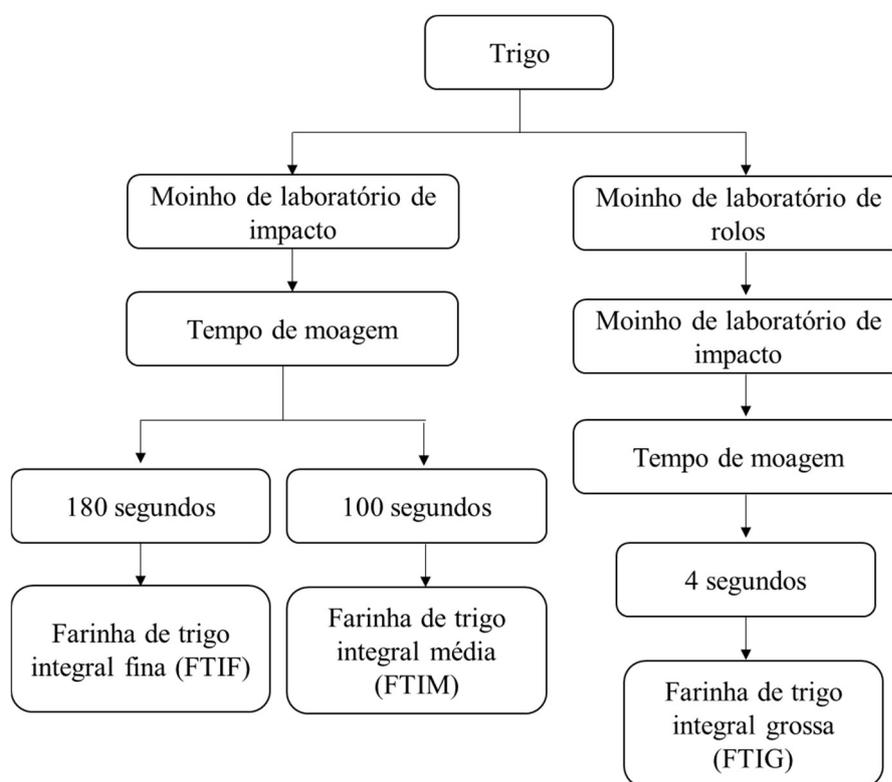
### 4.2.1 Material

Três cultivares comerciais de trigo (*Triticum aestivum* L.), BRS 374, ORS Vintecinco e TBIO Consistência indicadas para produção de biscoitos no Brasil, foram gentilmente cedidos pela Cooperativa Agrária Agroindustrial, localizada no município de Guarapuava, Estado do Paraná, Brasil. Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico.

### 4.2.2 Farinha de trigo integral

As farinhas integrais foram obtidas pela moagem em diferentes etapas até obter 3 diferentes tamanhos de partículas, como descrito a seguir. As FTI com tamanho de partícula fina (FTIF) e média (FTIM) foram obtidas pela moagem em moinho de laboratório de impacto com velocidade fixa de 20.000 rpm por 180s e 100s, respectivamente e câmara de moagem arrefecida (M20, IKA, Staufen, Alemanha). Para a farinha com maior tamanho de partícula (FTIG) os grãos de trigo foram submetidos inicialmente ao processo de quebra no moinho de laboratório de rolos (CD1, Chopin, França), seguido pela moagem no moinho de impacto por 4 s.

O tamanho médio das partículas das farinhas foi determinado pelo método de difração a laser em determinador de tamanho de partícula (LV-950, Horiba, Japão), utilizando o módulo de dispersão seca. As farinhas obtidas foram denominadas a partir do tamanho de partícula como: farinha de trigo integral fina (FTIF); farinha de trigo integral média (FTIM) e farinha de trigo integral grossa (FTIG). Na Figura 12 estão apresentadas as diferentes configurações utilizadas no processo de moagem



**Figura 12.** Esquema do método utilizado para moagem e elaboração das FTI com diferentes tamanhos de partícula.

#### 4.2.3 Caracterização da farinha

Os teores de umidade, cinzas, lipídeos, proteína bruta e amido danificado, foram analisados seguindo os métodos oficiais da AACCI (2010), 44-15.02, 08-12.01, 30-25.01, 46-13.01 e 76-33.01 respectivamente.

A análise do teor de glúten foi realizada pelo método nº 38-12.02 da AACCI (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.

As propriedades de mistura foram determinadas através das características do farinógrafo de acordo com o método aprovado 54-21.02 (AACCI, 2010). A partir das curvas farinogáficas, foram obtidos a absorção de água (% de água necessária para

obter uma consistência de massa de 500 BU), tempo de desenvolvimento (tempo para atingir a consistência de 500 BU), índice de tolerância a mistura e estabilidade.

As propriedades de pasta foram avaliadas em equipamento em analisador rápido de viscosidade (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 AACCI (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.

#### *4.2.4 Elaboração dos biscoitos tipo cookie*

A receita básica da massa de biscoito (com base em 100 g de farinha) foi preparada de acordo com Protonotariou et al. (2016). A proporção de ingredientes foi de 28,3 g de açúcar, 12,5 g de água, 35,3 g de gordura vegetal, 1,1 g de sal e 1,3 g de bicarbonato de sódio. O açúcar, água, gordura vegetal, sal e bicarbonato de sódio foram misturados a baixa velocidade em batedeira elétrica (K5SS, Kitchen Aid, USA) durante 3 minutos. Após esse período a farinha foi adicionada e a massa misturada por mais 3 minutos a velocidade média para obtenção de massa homogênea. Finalizada a etapa de preparação, as massas foram divididas em porções, laminadas na espessura de 4 mm e cortadas com cortador de 6 cm de diâmetro. Biscoitos foram cozidos a 190 °C por 10 minutos em forno de laboratório (QA 226, Laboratories, Áustria). Após 30 minutos de respriamento à temperatura ambiente, os biscoitos foram armazenados em recipientes fechados hermeticamente e mantidos em condições ambientes.

#### *4.2.5 Avaliação das características de qualidade dos biscoitos tipo cookie*

O diâmetro médio dos biscoitos foi determinado medindo a largura de seis biscoitos colocados lado a lado e dividindo por seis. Os cálculos de diâmetro incluíram rotação dos biscoitos em um ângulo de 90 ° para medições duplicadas. A espessura média dos biscoitos foi determinada medindo a altura de uma pilha de seis biscoitos

e dividindo por seis. O fator de expansão dos biscoitos foi calculado dividindo o diâmetro do biscoito cozido pela espessura do biscoito.

Os parâmetros de cores dos biscoitos foram medidos usando o Espectrofotômetro de reflectância difusa (ColorQuest II, HunterLab, EUA) com sensor óptico geométrico de esfera para obtenção dos valores de  $L^*$  (Luminosidade) e coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ .

A análise de textura dos biscoitos foi realizada em equipamento texturômetro (TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Inglaterra), com probe 3-Point bending Rig (HDP/3PB) e plataforma HDP/90. Os parâmetros utilizados nos testes foram: velocidade pré-teste =  $1,0 \text{ mm.s}^{-1}$ ; velocidade de teste =  $3,0 \text{ mm.s}^{-1}$ ; velocidade pós-teste =  $10,0 \text{ mm.s}^{-1}$ ; distância 5 mm. A força de pico exibida no gráfico de textura foi a força necessária para quebrar o *cookie* e foi registrada como a força de ruptura do *cookie*.

#### 4.2.6 Estabilidade de armazenamento

Após o cozimento, os biscoitos foram armazenados em embalagens vedadas e mantidos à temperatura ambiente por 30 dias. A atividade de água ( $A_w$ ) foi medida usando um analisador de atividade de água (Testo, 650, Alemanha) à temperatura ambiente ( $25^\circ \text{C}$ ), nos dias 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30.

#### 4.2.7 Delineamento experimental e análise estatística

Com a finalidade de estudar o efeito combinado dos fatores cultivar e tamanho de partícula nas propriedades de hidratação das farinhas este experimento utilizou delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial  $3 \times 3$  (cultivar x tamanho de partícula), totalizando 9 tratamentos, com três repetições para cada um.

As determinações foram realizadas no mínimo em triplicata, e os dados avaliados pela análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey com intervalo de confiança de 95 %.

### 4.3 Resultados e discussão

#### 4.3.1 Distribuição do tamanho de partícula e diâmetro médio de partícula

O perfil de distribuição do tamanho de partícula e o tamanho médio das partículas das FTI elaboradas com diferentes cultivares de trigo é mostrado na Figura 10. As farinhas elaboradas de cultivares diferentes apresentaram perfil de distribuição

semelhantes devido à padronização nas condições de moagem utilizadas. As farinhas classificadas como FTIG apresentaram perfil de distribuição com maior concentração das partículas entre de 710  $\mu\text{m}$  a 1400  $\mu\text{m}$ . Nas amostras das cultivares ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência, classificadas como FTIM, 65,77 %, 70,64% e 70,07% respectivamente das partículas foram distribuídas no intervalo de 250  $\mu\text{m}$  e 1400  $\mu\text{m}$ . As amostras de FTIF apresentaram ampla distribuição, abrangendo entre 20  $\mu\text{m}$  a 1400  $\mu\text{m}$ .

#### 4.3.2 *Caracterização físico-química*

As amostras de farinha com menor tamanho de partícula apresentaram conteúdo de umidade significativamente menores nas três cultivares de trigo estudadas (Tabela 6). A redução pode ser atribuída ao aumento no tempo de moagem durante a produção das FTI classificadas como finas, resultando em maior produção de calor. Entre as cultivares estudadas, TBIO Consistência apresentou os menores índices de umidade para os três grupos de farinha (fina, média e grossa), sem diferir da BRS 374 nas farinhas de maior tamanho de partícula. As diferenças de tempo aplicadas no processo de moagem para produção das farinhas com diferentes tamanhos de partícula não afetaram o teor de proteína para as cultivares BRS 374 e TBIO Consistência (Tabela 6). Apenas na cultivar ORS Vintecinco, redução significativa no teor de proteína foi observada para farinha de menor tamanho de partícula em relação à média e grossa. Pequenas diferenças nos resultados da análise de proteína podem ser atribuídas ao pequeno tamanho da amostra usado na técnica de análise. O tamanho de partícula das farinhas não apresentou efeito significativo sobre os parâmetros de cinzas e lipídios, o que era esperado, uma vez que a moagem aplicada manteve o grão na sua totalidade, variando apenas o tempo (Tabela 6).

**Tabela 6.** Conteúdo de umidade, cinzas, proteína e lipídios de farinhas de trigo integral de diferentes tamanhos de partícula e cultivares de trigo.

Farinhas	Cultivares		
	ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO CONSISTÊNCIA
Umidade (%)			
FTIF	13,17 ± 0,22 <sup>Ba</sup>	12,96 ± 0,25 <sup>Ba</sup>	11,97 ± 0,22 <sup>Bb</sup>
FTIM	14,00 ± 0,33 <sup>Aa</sup>	13,97 ± 0,17 <sup>Aa</sup>	13,07 ± 0,15 <sup>Ab</sup>
FTIG	13,87 ± 0,21 <sup>Aa</sup>	13,24 ± 0,30 <sup>Bb</sup>	13,09 ± 0,18 <sup>Ab</sup>
Proteína (%)			
FTIF	12,94 ± 0,05 <sup>Ba</sup>	12,76 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	12,77 ± 0,28 <sup>Aa</sup>
FTIM	13,53 ± 0,09 <sup>Aa</sup>	12,91 ± 0,05 <sup>Ab</sup>	12,68 ± 0,07 <sup>Ac</sup>
FTIG	13,33 ± 0,15 <sup>Aa</sup>	12,74 ± 0,12 <sup>Ab</sup>	12,75 ± 0,02 <sup>Ab</sup>
Cinzas (%)			
FTIF	1,66 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	1,64 ± 0,04 <sup>Ab</sup>	2,14 ± 0,07 <sup>Aa</sup>
FTIM	1,64 ± 0,02 <sup>Ab</sup>	1,63 ± 0,06 <sup>Ab</sup>	2,11 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
FTIG	1,63 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	1,60 ± 0,04 <sup>Ab</sup>	2,03 ± 0,06 <sup>Aa</sup>
Lipídios (%)			
FTIF	1,74 ± 0,02 <sup>Ab</sup>	1,83 ± 0,04 <sup>Ab</sup>	2,01 ± 0,05 <sup>Aa</sup>
FTIM	1,70 ± 0,05 <sup>Ab</sup>	1,76 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	1,95 ± 0,04 <sup>Aa</sup>
FTIG	1,74 ± 0,05 <sup>Ab</sup>	1,74 ± 0,05 <sup>Ab</sup>	2,00 ± 0,05 <sup>Aa</sup>

Letras maiúsculas distintas na mesma coluna e minúsculas na mesma linha representam, respectivamente, uma diferença significativa entre tamanhos de partículas e cultivares, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

A indústria de panificação geralmente prefere farinhas de trigo com baixa resistência ao glúten e baixa capacidade de retenção de água para a produção comercial de biscoitos tipo *cookie* (SLADE e LEVINE, 1994). O amido danificado gerado durante a moagem da farinha pode afetar consideravelmente a qualidade da farinha e, portanto, o processo de fabricação de biscoitos; pode aumentar a absorção de água, alterando a viscosidade da massa uma vez que o amido danificado apresenta capacidade de reter quatro vezes mais água do que o amido nativo (KWEON et al., 2011). O conteúdo de amido danificado e capacidade de agregação do glúten das FTI são mostrados na Tabela 7. O aumento no tempo de moagem acarretou em aumento gradual no amido danificado das amostras,

sendo esse aumento mais intenso na farinha fina, independente do cultivar. Para cultivar TBIO Consistência, com o aumento na duração do processo de moagem, foi observado diferença no teor de amido danificado de até 3,80% entre a FTIF e FTIG. Os níveis de amido danificado em farinhas, depende do tamanho de partícula que se deseja obter, uma vez que a severidade da fricção e força de cisalhamento do moinho favorece a destruição da estrutura granular do amido, aumentando assim o teor de amido danificado (ANGELIDIS et al., 2016; PROTONOTARIOU et al., 2014). Uma diferença significativa no amido danificado entre os cultivares foi observado na farinha fina do TBIO Consistência. Tem sido relatado que o genótipo de trigo influencia no teor de amido danificado devido a dureza dos grãos (DUYVEJONCK et al., 2012, TSILO et al., 2011). Segundo Yu et al. (2015) grãos de trigo com maior índice de dureza apresentaram maiores valores de amido danificado sob as mesmas condições de moagem, chegando a apresentar aumento de 1.8% para 3.4% para grãos com índice de dureza (ID) de 13.6 e 57.6 respectivamente. Isso justifica a diferença significativa na farinha fina do TBIO consistência uma vez que este apresentou ID de 56.73, enquanto ORS Vintecinco, BRS 374 apresentaram ID de 36.47 e 41.20, respectivamente. Grãos de trigo com maior dureza requerem de maior energia para quebrar e reduzir durante a produção da farinha, levando a uma maior porcentagem de amido danificado. Embora as farinhas avaliadas apresentassem teor de amido danificado na faixa de conteúdo típico (2 a 4%) para as farinhas destinadas a produção de biscoito, não somente o teor de água retida é importante do ponto de vista tecnológico, mas também a velocidade com que a absorção ocorre e quais os fenômenos estão envolvidos.

O valor de glúten úmido é uma medida indicativa da capacidade de agregação das proteínas do glúten. Na tabela 7 é possível observar que as amostras de FTI com maior tamanho de partícula (FTIM e FTIG) apresentaram teores de glúten significativamente menores em relação à FTIF, tendência observada para as três cultivares (ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência). O efeito negativo na agregação do glúten com o aumento no tamanho das partículas chegou a (-17,93%) na FTIM e (-23,51%) na FTIG quando comparados com a FTIF para cultivar OR Vintecinco. Tais resultados estão de acordo com os achados de Niu et al. (2014), Steglich et al. (2015) e Wang et al. (2016), nos quais as FTI com tamanhos de partícula mais finas apresentaram efeito menos destrutivo sobre a agregação de glúten na massa. Uma explicação possível é que o maior tamanho de partícula nas FTI apresentam maior área de superfície de farelo, que pode permitir a fixação a outras partículas de farelo. E como consequência, as partículas de farelo agregadas que são mais rígidas, podem danificar a agregação de glúten, enquanto as partículas de farelo

mais finas são mais flexíveis e muito mais fáceis de incorporar na matriz do glúten (STEGLICH et al., 2015).

Para biscoitos tipo *cookie*, a baixa espessura e alto espalhamento, assim como uma textura macia e fácil de quebrar, são parâmetros de qualidade desejados. Dessa forma, os resultados obtidos para capacidade de agregação das proteínas do glúten das FTI com diferentes tamanhos de partícula sugerem que, os resultados de qualidade no produto final podem ser afetados de forma negativa com a utilização das farinhas de menor tamanho de partícula. Além disso, demonstraram a existência de uma dependência entre os fatores de tamanho de partícula e cultivar sobre a agregação do glúten (Tabela 7). Para cultivar ORS Vintecinco a agregação das proteínas do glúten foi significativamente maior em relação às cultivares BRS 374 e TBIO Consistência nos três tamanhos de partícula estudados. Da mesma forma, ORS Vintecinco, além da maior capacidade de agregação das proteínas do glúten, também demonstrou os maiores teores de proteína nas amostras de farinha (Tabela 6).

**Tabela 7.** Teor de amido danificado e glúten úmido de farinhas de trigo integral de diferentes tamanhos de partícula e cultivares de trigo.

Farinhas	Cultivares		
	ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO CONSISTÊNCIA
Amido Danificado (%)			
FTIF	3,21 ± 0,04 <sup>Ab</sup>	3,17 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	3,95 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
FTIM	0,28 ± 0,07 <sup>Ba</sup>	0,21 ± 0,04 <sup>Ba</sup>	0,23 ± 0,01 <sup>Ba</sup>
FTIG	0,13 ± 0,01 <sup>Ca</sup>	0,14 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	0,15 ± 0,02 <sup>Ca</sup>
Glúten úmido (%)			
FTIF	33,34 ± 0,75 <sup>Aa</sup>	25,67 ± 0,84 <sup>Ab</sup>	22,05 ± 2,66 <sup>Ab</sup>
FTIM	27,36 ± 0,91 <sup>Ba</sup>	18,67 ± 1,32 <sup>Bb</sup>	19,17 ± 0,33 <sup>ABb</sup>
FTIG	25,50 ± 0,56 <sup>Ba</sup>	15,93 ± 0,33 <sup>Cc</sup>	17,62 ± 0,64 <sup>Bb</sup>

Letras maiúsculas distintas na mesma coluna e minúsculas na mesma linha representam, respectivamente, uma diferença significativa entre tamanhos de partículas e cultivares, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

#### 4.3.3 *Propriedades de mistura*

A Tabela 8, resume as propriedades de mistura e de pasta das FTI elaboradas com diferentes tamanhos de partícula e cultivares. Entre as FTI, o tamanho das partículas afetou consideravelmente a absorção de água, as amostras de menor tamanho de partícula apresentaram maior absorção de água nas três cultivares de trigo avaliadas. Entre os componentes do farelo, a fibra alimentar apresenta a maior capacidade de absorver água, característica explicada pela prevalência de grupos hidroxila em sua estrutura (APPRICH et al., 2014). Portanto, nas FTI com menor tamanho de partícula, à maior superfície de contato das partículas proporciona maior exposição dos grupos hidroxila presentes na estrutura da fibra e, conseqüentemente, maiores interações com a água. (SANZ PENELLA, COLLAR e HAROS, 2008). Uma tendência semelhante foi observada no estudo de Xiong, et al., (2017), ao avaliar as influências da distribuição do tamanho de partícula de farelo na polimerização de proteínas e na mobilidade da farinha de trigo integral, o qual constatou que o tamanho reduzido das partículas de farelo aumentou a captação de água. Navrotskyi et al., (2019), avaliando o impacto da composição química do farelo de trigo nas propriedades de mistura da FTI, demonstraram que a relação entre conteúdo de fibra alimentar e capacidade de retenção de água pode não ser linear em um amplo espectro de tamanhos de partícula conforme relatado por (CAI et al., 2014).

Entre as cultivares avaliadas, BRS 375 apresentou os maiores índices de absorção nos três tamanhos de partícula avaliados, seguida da TBIO Consistência e ORS Vintecinco respectivamente.

No parâmetro de tempo de desenvolvimento da massa, que representa o tempo desde a adição de água na amostra de farinha até o desenvolvimento das propriedades viscoelásticas ideais da massa (VIZITIU e DANCIU, 2011), independente da cultivar, aumento significativo foi observado para as farinha com granulometria mais grossa em relação aos outros dois tamanhos de partículas avaliados. Esse fenômeno é provavelmente atribuído ao resultado da interferência que a presença do farelo causa no desenvolvimento do glúten, como a velocidade de absorção de água, que é mais lenta em partículas maiores (SANZ PENELLA, COLLAR e HAROS, 2008) e na formação de obstáculos físicos, que levam a uma redução na conectividade da rede de glúten. Resultados semelhantes foram relatados por Liu et al., (2016) e Wang, Hou e Dubat, (2017) ao avaliar a farinha de trigo reconstituída de diferentes tamanhos de partícula usando Mixolab.

A estabilidade da massa, parâmetro relacionado à resistência da farinha, diminuiu significativamente ( $p < 0,05$ ) nas amostras de FTI das cultivares estudada com a redução no tamanho das partículas, indicando que as FTI com menor tamanho de partícula são menos tolerantes ao processo de mistura e fornecem massas mais fracas. Correlacionando os resultados deste estudo entre tempo de estabilidade e absorção, ambos parâmetros avaliados pela farinografia, relação inversa forte foi observada (-0,70), apoiando as hipóteses de Li et al., 2012 e Niu et al., 2014, os quais justificam que nas FTI a competição pela água pelos constituintes das camadas externas do grão, como os arabinosilanas, interferem no desenvolvimento adequado do glúten. Como os polissacarídeos não amiláceos presentes na farinha conseguem ligar-se facilmente à água durante o processo de mistura, reduzem a disponibilidade de água para a formação ideal do glúten. Essa capacidade de absorção é ainda mais pronunciada quando o tamanho de partícula é menor, conforme discutido no tópico de absorção de água, por esse motivo foram observadas massas mais fracas em farinhas de menor tamanho de partícula.

O índice de tolerância à mistura (ITM), que é definido como a diferença na unidade farinográfica entre o início da curva no pico e a posição da curva medida 5 minutos após o pico, mostra efeitos mais acentuados nas farinhas de menor tamanho de partícula. Massas com alto valor de ITM são conhecidas por possuir fraca tolerância ao processo de mistura, e desta forma, as FTGI do grupo com menor tamanho de partícula apresentaram uma tolerância à mistura mais fraca, independente da cultivar avaliada. Este parâmetro apresenta forte correlação negativa com a estabilidade da massa (-0,93), indicando que massas de menor estabilidade apresentam altos índices de tolerância à mistura, ou seja, fraca tolerância aos processos de mistura.

As medidas reológicas, como as obtidas pela técnica de farinografia são comumente usadas para avaliar a qualidade do glúten e funcionalidade de cozimento de uma determinada farinha. Menor absorção de água e baixos valores de estabilidade são atributos positivos para massas de biscoitos. Neste sentido, entre as farinhas estudadas, as de maior tamanho de partícula sugerem proporcionar melhor aplicação.

#### 4.3.4 *Propriedades de pasta*

A Tabela 8 apresenta os parâmetros relacionados as propriedades de pasta das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares. 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). O tamanho das partículas da farinha demonstram comportamento diferenciado dependendo da cultivar utilizada. Para cultivar ORS Vintecindo, o tamanho de partícula não apresentou alterações na viscosidade máxima, contudo BRS 374 e TBIO Consistência demonstraram que o aumento no tamanho das partículas da farinha proporcionou redução na viscosidade máxima, chegando à redução de 1278,33 Cp entre a FTGIF e FTGIG na cultivar TBIO Consistência. Este fenômeno pode ser atribuído ao maior refinamento dos constituintes da farinha, como carboidratos, proteínas e fibras quando o tamanho das partículas é menor. Além disso, estas variações podem estar relacionadas ao comportamento diferenciado das amostras em relação ao comportamento de absorção de água e expansão dos grânulos de amido, que podem ser maiores nas farinhas de menor tamanho de partícula devido ao aumento na área de superfície de contato (BOLADE et al., 2009). Em acordo com estes resultados, Niu et al., (2017) estudando propriedades de pasta de farinhas integrais elaboradas por moagem superfina, também demonstraram que a redução no tamanho das partículas promove viscosidades aprimoradas. Segundo Niu et al., (2017), nas farinhas integrais, as propriedades de pasta envolvem além da gelatinização do amido, a gelatinização de alguns polissacarídeos não amiláceos das camadas externas do grão de trigo. Desta forma, quando as amostras são elaboradas por moagem mais intensa, ocorre a liberação desses compostos não amiláceos, levando, assim, às viscosidades de pasta aprimoradas.

As condições do teste, como temperaturas elevadas e agitação mecânica as quais as pastas de amido são submetidas promovem a ocorrência da ruptura dos grânulos de amido intumescidos, processo que leva a diminuição na viscosidade de pasta (LEON et al., 2010). Este efeito é representado pela viscosidade mínima, e está associado à estabilidade dos grânulos de amido ao aquecimento. Os resultados obtidos para viscosidade mínima, exceto para cultivar ORS Vintecindo (Tabela 8), assim como os apresentados para viscosidade máxima, diminuíram à medida que o tamanho das partículas aumentou. Essa redução na estabilidade do gel para as farinhas de maior tamanho de partícula sugere que o enfraquecimento do gel é mais pronunciado pela presença das fibras na matriz, promovendo assim aumento na concentração de material de parede celular solúvel e insolúvel que dificulta a associação intermolecular que ocorre na rede macromolecular através do

resfriamento por interferência física, interrupção de forças secundárias e impedimento estérico (ROSELL et al., 2010). Avaliando o efeito das cultivares sobre a viscosidade máxima e mínima, diferenças significativas foram observadas nas amostras de FTGI com diferentes tamanhos de partícula (Tabela 8). BRS 374 apresentou os maiores valores nas farinhas para os três tamanhos de partícula avaliados.

A 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 viscosidade mínima e denominada de quebra. Na tabela 8, é possível verificar que os valores de quebra das farinhas demonstraram a mesma tendência observada para viscosidade máxima para as três cultivares estudadas, em que a viscosidade diminuiu de acordo com o aumento do tamanho das partículas. Além das influências regidas pela variação de composição e mecanismos de interação com a variação no tamanho das partículas, a presença das camadas externas em maior tamanho de partícula pode interferir fisicamente na absorção de água pelos grânulos de amido, causando seu rompimento antes que estejam totalmente intumescidos. Entre as cultivares estudadas, BRS 374 apresentou maior valor de quebra, sem diferir de TBIO consistência para farinhas classificadas como finas. Nas farinhas de tamanho de partícula médio os maiores valores foram observados para BRS 374 e OR Vintecindo, enquanto que nas farinhas de maior tamanho de partícula a quebra foi mais pronunciada para a farinha elaborada com a cultivar BRS 374, seguida da ORS Vintecindo e TBIO Consistência.

A viscosidade final é alcançada durante o processo de resfriamento da amostra e geralmente está relacionada à retrogradação do amido (TENG et al., 2015). A Tabela 8 mostra que o valor de viscosidade final diminuiu significativamente para FTI de tamanho de partícula médio e fino em relação à grossa na cultivar ORS Vintecindo, mas não apresentou diferença significativa entre os tamanhos de partículas nas cultivares BRS 374 e TBIO Consistência. A alta capacidade de absorção de água da fibra a torna menos disponível para a retrogradação, como pode ser observado neste estudo, onde as farinhas que apresentaram maior capacidade de absorção apresentaram também os menores valores de retrogradação.

Os resultados aqui revelados mostraram que a FTI pode apresentar comportamento adverso relacionado ao tamanho das partículas, reafirmando a proposição de Drakos et al., (2017), que a complexidade da matriz da farinha e os

parâmetros de moagem são importantes para formação do gel, uma vez que eles definem as interações entre vários constituintes com água.

**Tabela 8.** Propriedades de mistura e propriedades de pasta das farinhas de trigo integral de diferentes tamanhos de partícula e cultivares de trigo.

Farinhas	Cultivares de trigo			Flours	Cultivares de trigo		
	ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO Consistência		ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO Consistência
	<b>Absorção de água (%)</b>				<b>Tempo de desenvolvimento (min)</b>		
FTIF	67,0 ± 0,05 <sup>Ac</sup>	69,2 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	67,4 ± 0,10 <sup>Ab</sup>	FTIF	6,7 ± 0,40 <sup>Ca</sup>	5,7 ± 0,40 <sup>Cb</sup>	5,7 ± 0,17 <sup>Cb</sup>
FTIM	62,5 ± 0,01 <sup>Bb</sup>	66,6 ± 0,09 <sup>Aa</sup>	64,1 ± 0,03 <sup>Bab</sup>	FTIM	8,4 ± 0,46 <sup>Bb</sup>	9,6 ± 0,46 <sup>Ba</sup>	9,8 ± 0,11 <sup>Ba</sup>
FTIG	62,1 ± 0,17 <sup>Cc</sup>	63,5 ± 0,07 <sup>Ba</sup>	63,1 ± 0,14 <sup>Cb</sup>	FTIG	9,8 ± 0,52 <sup>Ab</sup>	11,4 ± 0,11 <sup>Aa</sup>	12,9 ± 0,98 <sup>Aa</sup>
	<b>Estabilidade (min)</b>				<b>Índice de tolerância a mistura (FU)</b>		
FTIF	7,5 ± 0,05 <sup>Ca</sup>	6,7 ± 0,05 <sup>Cb</sup>	5,9 ± 0,34 <sup>Cc</sup>	FTIF	80,6 ± 1,15 <sup>Aa</sup>	72,0 ± 1,73 <sup>Ab</sup>	71,0 ± 0,90 <sup>Ab</sup>
FTIM	10,1 ± 0,17 <sup>Bb</sup>	14,1 ± 0,04 <sup>Aa</sup>	13,7 ± 0,05 <sup>Aa</sup>	FTIM	48,6 ± 2,30 <sup>Ba</sup>	18,6 ± 1,15 <sup>Bb</sup>	15,3 ± 1,15 <sup>Bb</sup>
FTIG	14,13 ± 0,05 <sup>Aa</sup>	13,4 ± 0,05 <sup>Bb</sup>	13,0 ± 0,34 <sup>Bb</sup>	FTIG	32,6 ± 5,77 <sup>Ca</sup>	19,6 ± 4,04 <sup>Bb</sup>	13,3 ± 4,61 <sup>Bb</sup>
	<b>Viscosidade máxima (Cp)</b>				<b>Quebra (Cp)</b>		
FTIF	2768,33 ± 61,00 <sup>Ac</sup>	3923,66 ± 107,03 <sup>Aa</sup>	3627,66 ± 41,77 <sup>Ab</sup>	FTIF	1152,66 ± 10,02 <sup>Ab</sup>	1511,00 ± 71,76 <sup>Aa</sup>	1412,00 ± 65,96 <sup>Aa</sup>
FTIM	2803,00 ± 87,71 <sup>Ac</sup>	3462,33 ± 79,13 <sup>Ba</sup>	3033,00 ± 68,79 <sup>Bc</sup>	FTIM	1138,00 ± 104,9 <sup>Aab</sup>	133,00 ± 53,70 <sup>ABa</sup>	1013,33 ± 77,53 <sup>Bb</sup>
FTIG	2746,66 ± 92,80 <sup>Ab</sup>	3488,66 ± 183,64 <sup>Ba</sup>	2349,33 ± 101,25 <sup>Cc</sup>	FTIG	996,66 ± 65,16 <sup>Ab</sup>	1260,66 ± 132,80 <sup>Ba</sup>	590,33 ± 66,01 <sup>Cc</sup>
	<b>Viscosidade final (Cp)</b>				<b>Tendência a retrogradação (Cp)</b>		
FTIF	2722,66 ± 49,60 <sup>Ca</sup>	3764,33 ± 72,47 <sup>Aa</sup>	3638,00 ± 55,75 <sup>Aa</sup>	FTIF	1107,00 ± 13,53 <sup>Cb</sup>	1351,66 ± 37,21 <sup>Ba</sup>	1422,33 ± 43,39 <sup>Ca</sup>
FTIM	3054,00 ± 61,83 <sup>Bb</sup>	3774,33 ± 87,29 <sup>Aa</sup>	3610,00 ± 79,08 <sup>Aa</sup>	FTIM	1389,00 ± 80,73 <sup>Bb</sup>	1635,00 ± 59,66 <sup>Aa</sup>	1590,33 ± 79,43 <sup>Ba</sup>
FTIG	3528,33 ± 32,59 <sup>Ab</sup>	4074,00 ± 210,50 <sup>Aa</sup>	3552,66 ± 94,73 <sup>Ab</sup>	FTIG	1776,66 ± 53,26 <sup>Aa</sup>	1846,00 ± 161,20 <sup>Aa</sup>	1793,66 ± 57,76 <sup>Aa</sup>

\*\*Letras maiúsculas distintas na mesma coluna e minúsculas na mesma linha representam, respectivamente, uma diferença significativa entre tamanhos de partículas e cultivares, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

#### 4.3.5 Qualidade dos biscoitos tipo cookie

Durante o processo de cozimento, muitas mudanças ocorrem na massa de biscoito. As mais importantes são mudanças nas características físicas. Os *cookies* elaborados com FTI de diferentes tamanhos de partícula e cultivares são mostrados na Figura 13 e seus parâmetros de qualidade apresentados na Tabela 9.

##### 4.3.5.1 Diâmetro, Espessura, Fator de expansão e textura dos cookies

O diâmetro e espessura dos *cookies* foram alterados com a variação no tamanho de partícula das farinhas (Tabela 9). O diâmetro, independente da cultivar de trigo utilizada apresentou aumento gradual com o aumento no tamanho de partícula da farinha, chegando a apresentar acréscimo de 15,78% para *cookies* elaborado com a FTIG em relação a FTIF para cultivar TBIO Consistência. Fenômeno contrário foi observado para espessura dos biscoitos, a qual foi menor nos *cookies* elaborados com farinhas de maior granulometria.

Para comparar os resultados do cozimento dos *cookies* das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares, o fator de expansão dos biscoitos foi calculado dividindo o diâmetro do biscoito cozido pela espessura. Os *cookies* elaborados com FTI de menor tamanho de partícula apresentaram expansão menor, indicando impacto negativo da redução do tamanho de partícula no desempenho de cozimento do biscoito tipo *cookie*. Em acordo com os resultados deste trabalho, Protonotariou et al., (2016) demonstraram que o fator de expansão dos biscoitos tipo *cookie* diminuíram significativamente quando a farinha de trigo integral micronizada foi usada para substituir a farinha nos níveis de substituição de 80 e 100%. No entanto, Wang et al., (2016) estudando o efeito do tamanho da partícula da farinha integral relataram impacto positivo da redução no tamanho das partículas no fator de expansão de biscoito tipo cracker. A redução no fator de expansão dos biscoitos elaborados com farinhas de menor tamanho de partícula pode ser explicada pela consistência da massa. Uma rede elástica da massa apresenta encolhimento durante o cozimento após a expansão e, portanto, redução no diâmetro (ZOULIAS, PIKNIS, OREOPOULOU, 2000), fato que está de acordo com o aumento observado na capacidade de agregação do glúten para as FTI com menor tamanho de partícula (Tabela 9).

Na produção de biscoitos, o processo de mistura dispersa os ingredientes uniformemente e promove a absorção de água, em vez de desenvolver uma

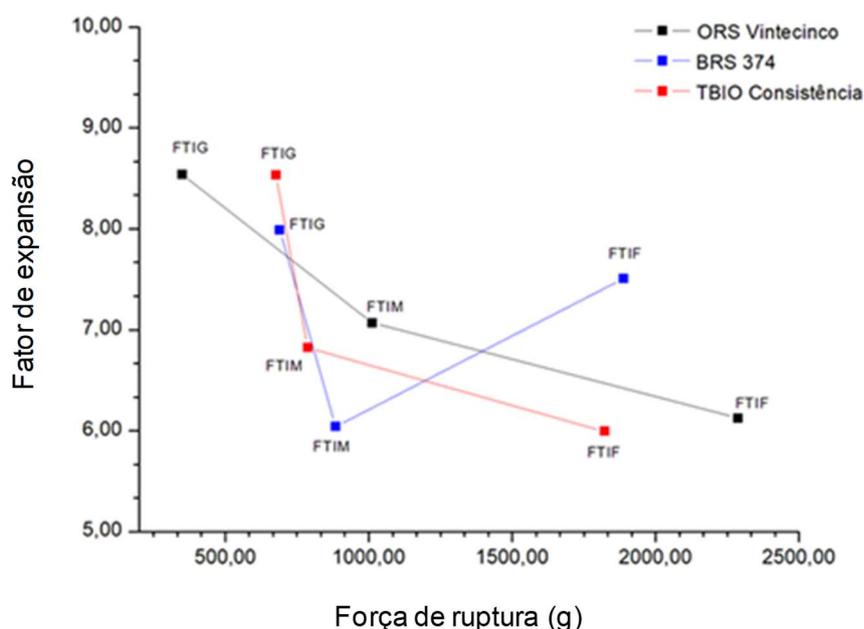
verdadeira estrutura de massa (HUEBNER et al., 1999). Devido aos altos níveis de gordura e açúcar, o desenvolvimento da rede de glúten é limitado. No entanto, a proteína da farinha de trigo não é funcionalmente inerte na massa de biscoito, especialmente durante o cozimento (GAINES, 1990). Baseado em uma abordagem experimental usando misturas de glúten e amido, Pareyt et al., (2008) concluíram que a maior capacidade de agregação das proteínas do glúten interfere na viscosidade da massa, levando à diminuição na expansão dos biscoitos, e conseqüentemente, redução no diâmetro, comportamento indesejado de qualidade.



**Figura 13.** Vista superior e lateral de biscoitos tipo *cookie* da FTI de diferentes tamanhos de partícula e cultivares. A: ORS Vintecinco; B: BRS 374; C: TBIO Consistência.

Os efeitos do tamanho de partícula e cultivar de trigo da FTI na textura dos *cookies* é mostrado na Tabela 9. A força de ruptura reflete a dureza dos biscoitos e valor maior da força de ruptura indica textura mais dura. As preferências do consumidor por *cookies* variam dependendo da dureza; geralmente preferem-se *cookies* de baixa dureza, embora força de ruptura muito baixa também significa que os *cookies* são muito frágeis e podem causar muita quebra nas embalagens. Os *cookies* elaborados com FTI de menor tamanho de partícula apresentaram maior força de ruptura nas três cultivares de trigo avaliadas. A força de ruptura chegou a variar 84,71%, 63,49% e 62,87% entre as farinhas de tamanho fino e grosso para as

cultivares ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência respectivamente. Essas mudanças na força de ruptura indicaram que os *cookies* apresentavam textura mais macia quando elaborados com FTI de maior granulometria. Sudha et al. (2007) e Nandeesh et al. (2011), ao avaliar a incorporação de diferentes fibras na qualidade dos biscoitos, relataram dificuldades na obtenção de biscoitos com textura macia devido à pronunciada redução no fator de expansão. Esse fenômeno pode ser evidenciado pelo aumento linear da força de ruptura (dureza) dos *cookies* com a redução no fator de expansão para as cultivares ORS Vintecinco e TBIO Consistência (Figura 14).



**Figura 14.** Efeito do fator de expansão sobre a força de ruptura dos *cookies* de farinha de trigo integral de diferentes tamanhos de partícula e cultivares.

Wang et al., (2016) avaliando FTI reconstituída em diferentes tamanhos de partículas e Protonotariou et al., (2016) estudando o efeito da FTI micronizada, demonstraram indicativos de estrutura mais densa para biscoitos elaborados com farinhas mais finas. Em nosso estudo, à medida que o tamanho de partícula da FTI aumentava, a capacidade de agregação do glúten (glúten úmido) reduzia, melhorando assim a expansão e resultando em *cookies* mais crocantes. Fenômeno evidenciado pela forte correlação positiva entre a força de ruptura com o parâmetro de glúten úmido

(ORS Vintecinco,  $r = 0,993$ ; BRS 374,  $r = 0,992$  e TBIO Consistência,  $r = 0,965$ ) com base na análise de correlação de Pearson. Além disso, a fração de água nos biscoitos, afetada pelas propriedades da massa durante o processo de cozimento, também pode levar à diferença de textura quebradiça (ROMAN et al., 2019).

**Tabela 9.** Propriedades físicas dos biscoitos tipo *cookie* das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares.

Farinhas	Cultivares de trigo		
	ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO Consistência
	Diâmetro (mm)		
FTIF	68,30 ± 1,00 <sup>Cb</sup>	71,52 ± 0,76 <sup>Ba</sup>	65,25 ± 0,43 <sup>Cc</sup>
FTIM	72,26 ± 0,80 <sup>Ba</sup>	65,82 ± 0,57 <sup>Cb</sup>	70,97 ± 0,35 <sup>Ba</sup>
FTIG	77,40 ± 0,66 <sup>Aa</sup>	74,38 ± 0,81 <sup>Ab</sup>	75,55 ± 0,69 <sup>Ab</sup>
	Espessura (mm)		
FTIF	11,15 ± 0,09 <sup>Aa</sup>	9,53 ± 0,15 <sup>Bb</sup>	10,90 ± 0,35 <sup>Aa</sup>
FTIM	10,22 ± 0,20 <sup>Bb</sup>	10,90 ± 0,28 <sup>Aa</sup>	10,40 ± 0,12 <sup>Aab</sup>
FTIG	9,06 ± 0,22 <sup>Ca</sup>	9,31 ± 0,28 <sup>Ba</sup>	8,86 ± 0,39 <sup>Ba</sup>
	Fator de expansão		
FTIF	6,12 ± 0,03 <sup>Cb</sup>	7,50 ± 0,19 <sup>Aa</sup>	5,90 ± 0,23 <sup>Cb</sup>
FTIM	7,06 ± 0,17 <sup>Aa</sup>	6,04 ± 0,19 <sup>Bb</sup>	6,82 ± 0,09 <sup>Aa</sup>
FTIG	8,54 ± 0,27 <sup>Aa</sup>	7,99 ± 0,23 <sup>Aa</sup>	8,53 ± 0,44 <sup>Aa</sup>
	Força de ruptura (g)		
FTIF	2287,90 ± 46,95 <sup>Aa</sup>	1889,33 ± 94,33 <sup>Ab</sup>	1822,54 ± 47,95 <sup>Ab</sup>
FTIM	1013,37 ± 100,25 <sup>Ba</sup>	884,55 ± 38,49 <sup>Bab</sup>	787,38 ± 28,06 <sup>Bb</sup>
FTIG	349,74 ± 34,46 <sup>Cb</sup>	689,70 ± 61,08 <sup>Ca</sup>	676,58 ± 31,33 <sup>Ca</sup>

Letras maiúsculas distintas na mesma coluna e minúsculas na mesma linha representam, respectivamente, uma diferença significativa entre tamanhos de partículas e cultivares, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

#### 4.3.5.2 Cor dos cookies

A cor é um dos principais atributos de qualidade com influência na aceitabilidade dos biscoitos (BAUMGARTNER et al., 2018). Atribuída principalmente pela reação de Maillard, a qual é promovida pela alta temperatura durante o cozimento, a cor dos biscoitos também sofre influência com a incorporação de fibras (Asselman et al., 2007, SUDHA et al. 2007). A cor dos *cookies* foi determinada através de  $L^*$  e coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , indicando valores de luminosidade, vermelhidão e amarelamento respectivamente. A cor da superfície dos *cookies* tornou-se mais escuras (valores inferiores de  $L^*$ ) e mais amarelas (valores superiores de  $b^*$ ) com o aumento no tamanho das partículas da FTI para as três cultivares estudadas (Tabela 10). Para coordenada  $a^*$ , não foram observadas alterações nos *cookies* da cultivar OR Vintecincos e BRS 374 com a variação do tamanho de partícula, já os *cookies* elaborados com a FTI da TBIO Consistência  $a^*$  demonstrou aumento significativo na farinha grossa em relação a fina em média. Esses resultados indicaram que os *cookies* de FTI se tornaram mais escuros, amarelados e avermelhados em tamanhos de partículas maiores.

**Tabela 10.** Cor dos biscoitos tipo *cookie* das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares.

Farinhas	Cultivares de trigo		
	ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO Consistência
Cor L*			
FTIF	57,41 ± 0,38 <sup>Aa</sup>	55,89 ± 0,07 <sup>Ab</sup>	56,95 ± 0,76 <sup>Aab</sup>
FTIM	55,48 ± 0,14 <sup>Ba</sup>	55,11 ± 0,26 <sup>Ba</sup>	53,10 ± 0,70 <sup>Bb</sup>
FTIG	54,39 ± 0,59 <sup>Ca</sup>	52,73 ± 0,09 <sup>Cb</sup>	52,11 ± 0,36 <sup>Bb</sup>
Cor a*			
FTIF	6,86 ± 0,06 <sup>Ab</sup>	7,34 ± 0,08 <sup>Aa</sup>	7,41 ± 0,06 <sup>Ba</sup>
FTIM	6,84 ± 0,05 <sup>Ab</sup>	6,97 ± 0,10 <sup>Ab</sup>	7,45 ± 0,12 <sup>Ba</sup>
FTIG	6,88 ± 0,03 <sup>Aa</sup>	7,50 ± 0,69 <sup>Aa</sup>	7,71 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
Cor b*			
FTIF	24,11 ± 0,34 <sup>Cb</sup>	25,30 ± 0,11 <sup>Ba</sup>	25,18 ± 0,10 <sup>Ba</sup>
FTIM	26,36 ± 0,42 <sup>Bb</sup>	25,48 ± 0,23 <sup>Bc</sup>	27,15 ± 0,15 <sup>Aa</sup>
FTIG	27,48 ± 0,08 <sup>Aa</sup>	27,87 ± 0,15 <sup>Aa</sup>	27,53 ± 0,24 <sup>Aa</sup>

\*\*Letras maiúsculas distintas na mesma coluna e minúsculas na mesma linha representam, respectivamente, uma diferença significativa entre tamanhos de partículas e cultivares, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa

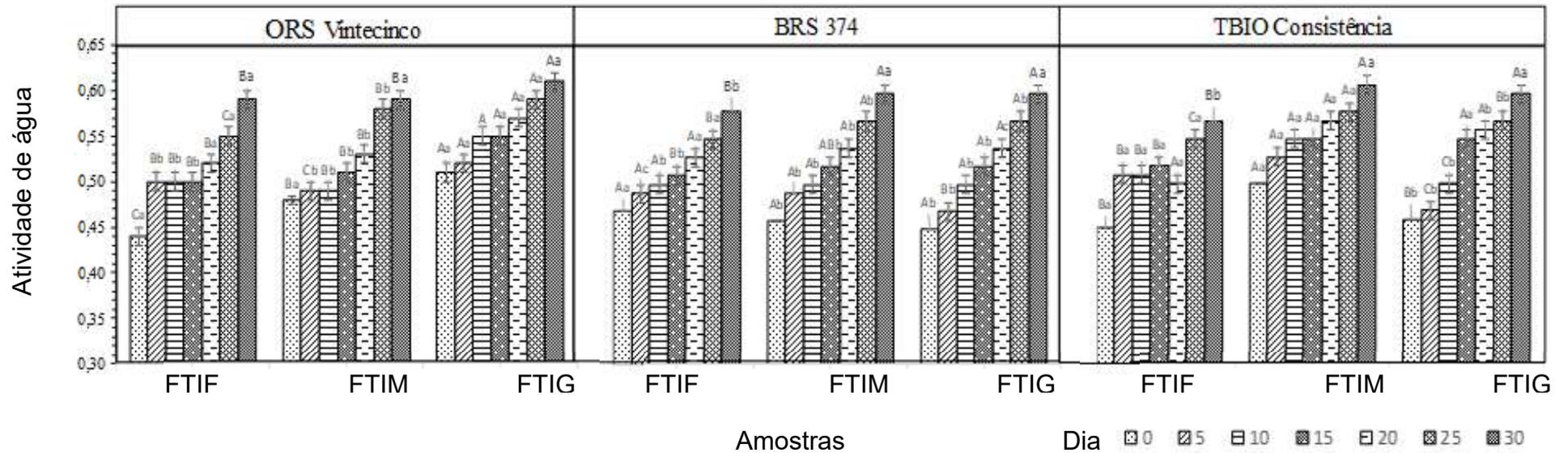
Dentre os parâmetros de cor avaliados, a luminosidade (L\*) é o mais importante a ser considerada isoladamente, para se obter uma estimativa do escurecimento ou da “brancura” da amostra. Uma possível razão para estes resultados foi uma distribuição mais uniforme nas farinhas de menor tamanho de partícula. Hidalgo, Fongaro e Brandolini (2014), estudando a influência da granulometria das farinhas refinadas na percepção da cor, demonstraram que à medida que o tamanho da granulometria aumenta, a superfície torna-se cada vez mais heterogênea, levando a uma diminuição da luminosidade.

Avaliando as três cultivares de trigo, TBIO Consistência apresentou percepção de cor mais escura nos *cookies* de FTIM, sem diferir da cultivar ORS Vintecinco e BRS

374 na FTIF. De forma contrária, na coordenada b\*, TBIO Consistência apresentou os maiores valores em relação às demais cultivares estudadas nos *cookies* de FTIM, sem diferir de ORS Vintecinco e BRS 347 nos *cookies* de FTIG. Esses resultados demonstram que a cor do *cookies* sofre influência além dos procedimentos de moagem aplicados e tamanho diferenciado das partículas da FTI, a cor dos *cookies* também pode ser influenciada pelas características genóticas inerentes das cultivares, condições ambientais, ano e local de cultivo, conforme relatado por (HIDALGO, BRANDOLINI e RATTI, 2009).

#### 4.3.5.3 Estabilidade de armazenamento

A mudança no índice de atividade de água ( $A_w$ ) dos *cookies* durante o período de armazenamento de 30 dias é mostrado na Figura 15. Os índices de  $A_w$  de todos os *cookies* apresentaram aumento crescente durante os 30 dias de armazenamento, demonstrando que os biscoitos se tornaram mais higroscópicos durante o armazenamento. Para os *cookies* elaborados com FTIF, a  $A_w$  chegou a variar em 34,0%, 6,4% e 26,6% entre o dia de produção dos *cookies* e 30 dias depois para as cultivares ORS Vintecinco, BRS 374 e TBIO Consistência respectivamente. Apesar dos biscoitos secos apresentarem prazo de validade relativamente longo, devido à sua baixa  $A_w$ , durante o período de armazenamento mudanças na migração e redistribuição da umidade, bem como o tipo e a entidade da interação entre a matriz sólida e a fração da água podem ocorrer. Assim, o comportamento da  $A_w$  observado no período avaliado pode ser relacionado a difusividade mais rápida da água na matriz menos hidratada e porosa dos biscoitos no estágio inicial de armazenamento (ROCA et al., 2006, UMESHA et al., 2015, ROMANI et al., 2016). Além disso, a retrogradação do amido também pode ser considerada como fator em mudanças na  $A_w$ , uma vez que o amido pode gelatinizar durante a fabricação do biscoito, causando sinérese (Manley, 2000). Ao término do período de avaliação do armazenamento (dia 30), o fator tamanho de partícula da FTI demonstrou como pode influenciar de forma significativa na  $A_w$  dos *cookies*, independente da cultivares de trigo. Biscoitos elaborados com FTI de maior tamanho de partícula apresentaram maior  $a_w$ .



**Figura 15.** Atividade de água dos cookies de FTI em função dos tamanhos de partícula e cultivares de trigo durante 30 dias de armazenamento. Letras maiúsculas comparam atividade de água em uma mesma cultivar com diferentes em diferentes tamanhos de partículas, as letras minúsculas comparam mesmo tamanho de partícula em diferentes cultivares. Resultados expressos como média de três determinações  $\pm$  desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

#### 4.3.6 Efeitos do tamanho de partícula (TP), cultivar (C) e interação entre TP e C (TP x C) na qualidade da FTI e dos biscoitos

Muitos esforços estão sendo feitos para melhorar as características de qualidade dos produtos de trigo integral. A distribuição granulométrica do farelo de trigo e da FTI tem se mostrado um fator importante de influência nas propriedades da mistura, massa e qualidade dos produtos (XIONG et al., 2017 e LIU et al., 2019). Da mesma forma atenção especial é direcionada a composição do farelo de trigo, a qual varia entre diferentes cultivares de trigo e ambiente de cultivo (CAI et al., 2014 e HERNÁNDEZ-ESPINOSA et al., 2018). Além disso, devido à diferente distribuição de componentes químicos entre as camadas de farelo (HEMDANE et al., 2016a e HEMDANE et al., 2016b), o desempenho da moagem pode influenciar significativamente a composição química do farelo. Nesta pesquisa, queríamos entender como esses dois fatores (TP e C) juntos influenciam as propriedades da FTI (elaborada pela moagem inteira dos grãos) e qualidade dos biscoitos tipo *cookie*.

##### 4.3.6.1 Propriedades da farinha

Os fatores individuais tamanho de partícula (TP), cultivar (C) e interação TP x C apresentaram efeitos significativos no teor de amido danificado das farinhas ( $p < 0,05$ ) (Tabela 11). Com base na proporção dos quadrados médios (Q.M), TP (Q.M 63,48) contribuiu para maior variação no amido danificado, com menor influência do C (Q.M 0,77) e TP x C (Q.M 0,39). Por exemplo, a FTIF apresentou o maior teor de amido danificado para as três cultivares de trigo utilizadas. A contribuição significativa de TP x C no teor de amido danificado indicou que este parâmetro não é influenciado apenas pelo processo de moagem, mas também por características genótípicas das cultivares. Esses dados demonstram que pode ser possível controlar os teores de amido danificado da FTI selecionando condições de moagem e cultivares.

A variabilidade obtida nos valores de glúten úmido ( $p < 0,01$ ), foi influenciada pelo TP (Q.M 128,91) e C (Q.M 237,34). Além disso variações significativas da interação entre TP x C também foram observadas (Q.M 6,13).

Os parâmetros avaliados através da técnica de farinografia foram influenciados em maior proporção pelo efeito do TP. (absorção de água: QM: 58,55;  $p < 0,05$ ; tempo de desenvolvimento da massa: QM: 65,24;  $p < 0,01$ ; estabilidade: QM: 125,01;  $p < 0,01$  e índice de tolerância a mistura: QM: 7522,33;  $p < 0,01$ ). Contudo, a C, em menor proporção que o TP também demonstrou efeito individual nos índices de absorção.

Além disso, o fator de interação TP x C também apresentou contribuição significativa nos parâmetros farinográficos, demonstrando que as propriedades de massa são influenciadas não apenas pelo tamanho de partícula da farinha, mas também por contribuições combinadas dos principais componentes funcionais das farinhas, os quais podem ser diferenciados pelas características genótípicas de cada cultivar. Para o parâmetro de estabilidade, a interação TP x C (QM: 252,12;  $p < 0,01$ ) foi superior ao fator isolado TP (QM: 125,01;  $p < 0,01$ ) e C (QM: 2,12;  $p < 0,01$ ). Portanto, os parâmetros farinográficos variam dependendo do genótipo, das condições de moagem e da interação entre esses fatores.

Em relação as propriedades de pasta, a ANOVA demonstrou efeitos individuais significativos no TP e C e na interação entre eles (Tabela 11). Resultados que demonstram que as farinhas com diferentes tamanhos de partícula (fina, média e grossa) promoveram variações nas propriedades de pasta e que estas são dependentes das características genéticas inerentes de cada cultivar.

#### 4.3.6.2 Propriedades dos biscoitos tipo cookie

A maior variação no diâmetro, espessura, fator de espalhamento e força de ruptura dos biscoitos tipo *cookie* foi atribuída com base na proporção dos quadrados médios ao fator TP, seguida pela interação TP x C (Tabela 11). Não foi observado influência significativa da C na variabilidade das características de espessura e fator de propagação.

As características de cor dos *cookies* foram influenciadas de forma diferenciada em relação aos fatores. A luminosidade ( $L^*$ ) dos *cookies* apresentou influencia predominante do efeito cultivar (QM: 30,72;  $p < 0,01$ ). Para coordenada  $a^*$ , TP e interação TP x C não influenciaram significativamente. Entretanto  $b^*$  demonstrou sobre maior influência do TP (QM: 17,20;  $p < 0,01$ ).

**Tabela 11.** Análise de variância para as propriedades da FTI e dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes tamanhos de partícula e cultivares.

---

Fontes de variação

GI	Farinhas	Quadrado médio	Tamanho de Partícula (TP)	Cultivar (C)	TP x C	Total	C.V (%)
			2	2	4	26	
			Propriedades da farinha				
Umidade			2,29*	2,21*	0,18**	26	1,84
Proteína			0,10*	0,75*	0,39*	26	0,96
Cinzas			0,01 <sup>ns</sup>	1,27*	0,00 <sup>ns</sup>	26	2,68
Lipídios			0,01 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	26	3,17
AD			63,48*	0,39*	0,77*	26	2,93
GU			128,91*	237,34*	6,13**	26	5,20
AAF			58,55**	15,22**	1,81*	26	1,07
TDM			65,24*	3,13*	3,57*	26	5,30
EF			125,01*	2,16*	252,12*	26	1,69
ITM			7522,33*	1111,44*	137,94*	26	6,05
VM			760444,48*	174873,10*	335466,81*	26	3,28
Quebra			377049,48*	314971,81*	101330,93*	26	6,82
VF			278781,48*	1370281,40*	155864,04*	26	2,87
TR			589705,04*	99848,92*	18868,48*	26	4,94
			Propriedades dos cookies				
Diâmetro			140,93*	12,86*	29,18**	26	1,00
Espessura			6,18*	0,12 <sup>ns</sup>	1,33*	26	2,60
Fator Exp.			9,34*	0,03 <sup>ns</sup>	1,61*	26	3,42
Força Rup.			5045968,50*	33228,25*	153275,05*	26	5,31
L*			6,89*	30,72*	2,01*	26	0,53
a*			0,17 <sup>ns</sup>	1,00*	0,06 <sup>ns</sup>	26	3,50
b*			17,20*	0,92*	1,28*	26	0,86

GI: Graus de liberdade. AD: Amido Danificado (%). GU: Glúten úmido (%). AAF: Absorção de água farinografia (%). TDM: Tempo de desenvolvimento da massa (min). EF: Estabilidade farinográfica (min). ITM: Índice de tolerância a mistura (UF). VM: Viscosidade máxima (cp). Quebra (cp). VF: Viscosidade final (cp). TR: Tendência a retrogradação (cp). Diâmetro (mm). Espessura (mm). Fator de propagação. Força de Ruptura (g).\* e \*\*. Significativo nos níveis de probabilidade 0,01 e 0,05, respectivamente. ns: não significativo.

#### 4.4 Conclusão

Os resultados demonstram a importância do tamanho de partícula, cultivar e a interação entre eles nos atributos de qualidade da farinha de trigo integral e dos biscoitos tipo *cookie*. O tamanho de partícula apresentou maior influência sobre as características da farinha como teor de amido danificado, absorção de água, tempo de desenvolvimento, propriedades de pasta e características dos biscoitos como diâmetro, espessura, fator de expansão e força de ruptura, enquanto a estabilidade da massa foi mais afetada pela interação TP x C. Além disso, a cultivar teve maior influência na capacidade de agregação de glúten e cor dos biscoitos ( $L^*$  e  $a^*$ ). O aumento no tamanho de partícula das farinhas reduziu o teor de amido danificado, a capacidade de absorção de água e dificultou a formação da estrutura de glúten, fenômeno desejável para qualidade de massa de biscoitos. Assim, os biscoitos elaborados com FTIG (676,12  $\mu\text{m}$ ) apresentaram maior diâmetro, maior expansão e menor espessura e dureza. A FTIG também demonstrou aumentar a tendência a retrogradação e  $A_w$  dos *cookies* após o armazenamento de 30 dias.

A influência genotípica ficou evidenciada através do desempenho diferenciado das cultivares perante os diferentes tamanhos de partícula da farinha nas propriedades dos biscoitos. Para a FTIG, com melhor qualidade de massa e biscoito, ORS Vintecinco demonstrou apresentar a melhor performance. Para as FTIF e FTIM as cultivares com melhor desempenho foram BRS 374 e TBIO Consistência respectivamente. A estratégia de seleção de características genotípicas específicas combinada a condições de moagem, parece adequada para obtenção de características de qualidade aceitáveis de FTI destinada a produção de biscoitos tipo *cookie*.

## **5 Capítulo 3 – Artigo publicado**

### **Influência da moagem de grãos de trigo integral e tamanho de partícula nas propriedades termo-mecânicas da farinha usando Mixolab**

Artigo publicado no periódico Czech Journal of Food Sciences  
Qualis 2012-2016 em Ciência de Alimentos: B1  
v. 37, p. 276-284, 2019 <https://doi.org/10.17221/239/2018-CJFS>  
ISSN 1805-9317

**Abstract**

Whole grain wheat flour (WG) of three different particles sizes (194.9, 609.4, and 830.0  $\mu\text{m}$ ) was prepared by milling whole grain. The effect of particle size on the thermo-mechanical properties of flour was investigated using Mixolab equipment and solvent retention capacity (SRC). The results showed that particle size influences the functionality of the gluten network. The SRC test revealed that the water absorption increased from 77.43% to 85.76%, with decrease in particle size. The C2 (protein weakening) values were correlated with the values for water absorption in the SRC and wet gluten test, respectively. The degree of gelatinization of starch (C3) showed that the presence of the fibers in the WG samples limited the availability of water to the starch, and this effect was especially true for flour with smaller particle size. In summary, the Mixolab equipment allowed a better understanding of the functionality of WG with regard to the behavior of protein properties. WG with coarse particles demonstrated a greater impact on the gluten network, indicating a negative effect on the baking quality.

**Keywords:** *flour properties; granulometry; rheology; Triticum aestivum; whole grain; whole wheat flour.*

## 5.1 Introduction

In recent years there has been an increasing interest in whole-grain products among consumers, especially those most concerned with health, thus directing the development of cereal-based products. In this context, whole grain wheat flour (WG) has become the subject of research around the world. In WG, the main anatomical components of grain, such as the endosperm, bran, and germ are present in the same proportions as that in the grain in its intact form, which characterizes it as an excellent source of nutritional and functional ingredients for human health (LIU 2007). Although WG can provide more health benefits than refined flour (RF), it also presents many baking related quality challenges, making it difficult to produce WG foods that maintain the functionality and quality desired by the consumers. For example, WG is known to reduce bread quality as it produces bread with a lower specific volume and a denser crumb texture (POMERANZ et al. 1977).

The particle size of WG is an important factor affecting product quality and functionality of the flour (KIHLEBERG et al. 2004). It is largely unknown how the particle size of the flour made from the milling of whole wheat grain influences the technical properties of the flour and baking characteristics. Especially as most studies refer to particle size of the bran used in different levels of reincorporation on the properties of the dough and quality of the finished products, such as breads, pasta, and biscuits (NOORT et al. 2010; LI et al. 2012; CAI et al. 2014; NIU et al. 2014; HEMDANE et al. 2015; WANG et al. 2016).

The rheological properties of wheat flour are normally used as an indicator of gluten structure and as a means of predicting gluten quality and functional behavior during baking (JIRSA et al. 2007). Thus, traditionally, changes in rheological properties during the baking process are studied with equipment that separately controls each step of the process, such as mixing behavior, fermentation stage, rest and temperature variation experienced by the dough throughout the baking process. Devices for assessing the consistency of the dough during mixing, such as the Farinograph, Mixograph, and Consistograph, have been widely used to study the behavior of dough. Likewise, changes in starch behavior associated with thermal processes are evaluated on the basis of paste viscosity during heating and cooling cycles using the Viscomilograph or the Newport Rapid Visco Analyser. However, the temperature

range, at which initial protein unfolding as well as water uptake by the starch granules occurs, can not be measured with such equipment (ROSELL et al. 2010).

The Mixolab technique can be considered an evaluation that, in only one test, predicts in varying degrees the quality of the final product, thereby simulating the steps of the baking process (mixing, cooking and cooling). The Mixolab technique measures the torque associated with the dough during the process with temperature variations, making it possible to measure information on the amount of water required for dough development, the time of dough development, gluten strength and weakening, starch gelatinization, and the retrogradation, enzymatic activity, and gel resistance of the dough (DUBAT 2010; ŠVEC & HRUSKOVA 2015). In addition, the Mixolab technique has been successfully applied to evaluate different aspects of wheat flour quality (CODINA et al. 2010; BANU et al. 2011; PAPOUŠKOVÁ et al. 2011) as well as the impact of particle size on quality attributes of reconstitute WG (LIU et al. 2016; WANG et al. 2017). Nevertheless, no study has reported the evaluation of wheat flour produced by the milling of the whole grain (without bran recombination) of different particle sizes using the Mixolab technique.

The aim of this study was to evaluate the influence of milling whole wheat grains of different particle size ranges on the thermo-mechanical properties using the Mixolab technique. The influence of particle size on damaged starch and solvent retention capacity (SRC) profiles were also examined and evaluated.

## **5.2 Material and Methods**

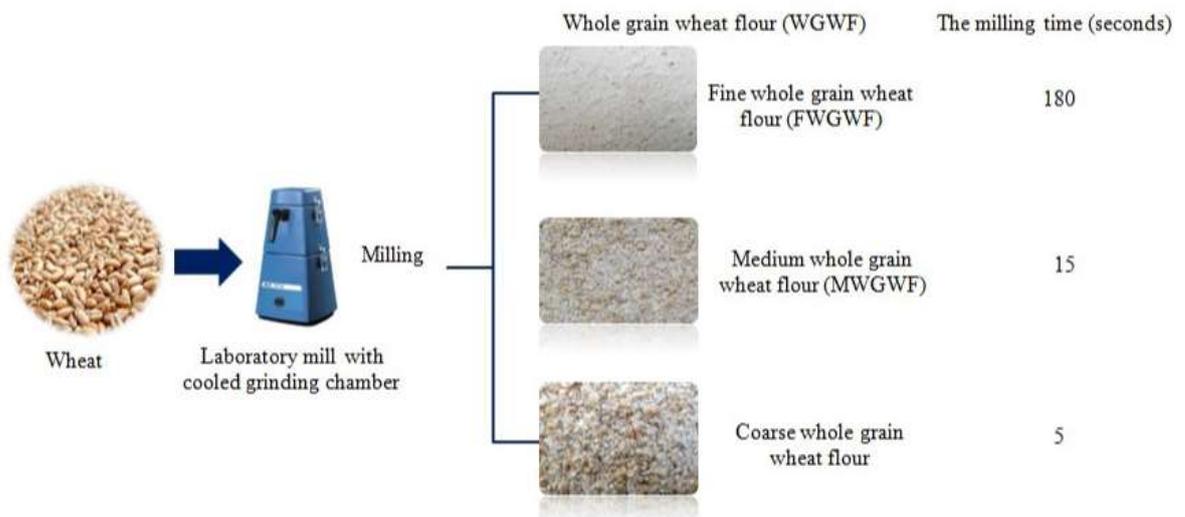
### *5.2.1 Material*

The wheat (*Triticum aestivum L.*) used in this study was from the Brazilian cultivar BRS Guabiju from the 2014 harvest. All reagents used in the study were of analytical grade.

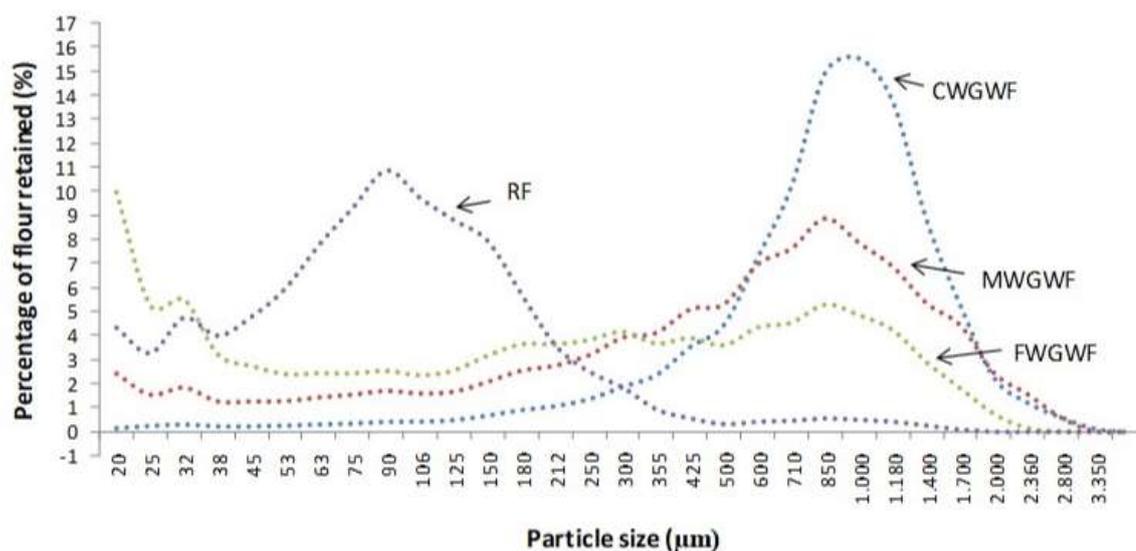
### *5.2.2 Milling process for obtaining flours*

To obtain refined flour (RF), the wheat grains were conditioned to 15% (wet basis) moisture with distilled water and after 24 h were milled at experimental roll mill CD1 (Chopin Technologies, France) according to the method n°. 26-10.02 of the American Association of Cereal Chemistry (AACCI, 2010). Figure 16 illustrates the detailed process for the production of whole grain wheat flour (WG). In order to produce flours

with three different average particle sizes, an impact laboratory mill with a speed of 20000 rpm and a refrigerated grinding chamber (M20; IKA, Germany) was used. To obtain flour with fine particle size, the fixed milling time of 180 s was used. The flour with a middle particle size was obtained by milling for 15 s, while the flour of the coarser particle size was obtained by milling for 5 seconds. The distribution of the particle size of the samples was determined using the laser diffraction method on a particle size determinator (LV-950; Horiba, Japan) with the dry dispersion modulus. The average particle size of the flours produced by the milling of the whole grains were the following: 194.9  $\mu\text{m}$ , fine whole grain wheat flour (FG); 609.4  $\mu\text{m}$ , medium whole grain wheat flour (MG); and 830.0  $\mu\text{m}$ , coarse whole grain wheat flour (CG) (Figure 17). The particle sizes used in this study were designed to encompass three particle sizes, considering that in practice WG can be produced by different milling procedures, resulting in various particle sizes and functionalities.



**Figura 16.** Representation of the milling process and production of whole grain wheat flours with different particle sizes.



**Figure 17.** Particle size distribution profile of flour with different particle sizes.

Results are a mean  $\pm$  s.d. ( $n = 3$ ); RF – refined flour (82.67  $\mu\text{m}$ ), FG – fine whole grain wheat flour (194.98  $\mu\text{m}$ ), MG – medium whole grain wheat flour (608.44  $\mu\text{m}$ ), CG – coarse whole grain wheat flour (830.00  $\mu\text{m}$ ).

### 5.2.3 Flour physicochemical analyses

The levels of moisture, protein, ash, lipids and dietary fiber were determined according to the official methods of AACCI (2010), 44-15.02, 46-10.01, 08-12.01, 30-25, and 32-07.01, respectively. The gluten content analysis was performed by the method, No. 38-12.02 (AACCI, 2010), with modifications on a Glutomatic equipment (2100; Perten Instruments, USA). For the WG, a polyester sieve (88  $\mu\text{m}$ ) was initially used for 120 s, until a mass was formed. After this period, a larger sieve (840  $\mu\text{m}$ ) was used to eliminate the fibrous layers of the meal during the washing period. Damaged starch was determined using the Chopin SDmatic according to method, 76-33.01 AACCI (2010). SRC tests that included determining the water SRC (W-SRC), lactic acid SRC (LA-SRC), sodium carbonate SRC (SC-SRC), and sucrose SRC (Su-SRC) values of WGWF of different particle sizes, were performed according to method, 56-11.02 AACCI (2010).

#### 5.2.4 *Mixolab analysis*

The thermomechanical characteristics of RF and WGWF with different particle sizes were evaluated using the Mixolab analyser (Chopin Technologies Inc. Paris, France) according to method 54-60.01 AACCI (2010) and application of the Chopin and Mixolab protocol. The flour mass used was 75 g, and the target consistency (C1) was 1.1 Nm ( $\pm 0.05$ ). After an initial mixing for 8 min at 30°C, the dough was heated for 15 min at the rate of 4°C/min until the temperature of the dough reached 90°C. The dough was held at 90°C for 7 min and then cooled to 50°C, at the rate of 4°C/min, and then mixed at 50°C for 5 minutes.

#### 5.2.5 *Statistical analysis*

All analyses were performed in triplicate. Data analysis was performed using analysis of variance (ANOVA). The comparison of means was performed using Tukey's test at 5% significance level. The Pearson correlation coefficient was used to evaluate the correlation between variables.

### 5.3 Results and Discussion

#### 5.3.1 *Effect of particle size on the physicochemical properties of flour*

The whole grain milling significantly reduced ( $P < 0.05$ ) the moisture content of the flours relative to RF (Table 12); the reduction was most likely due to not pre-moistening the wheat grains. The small differences in moisture content observed between the WG samples can be attributed to the increase in milling time and thereby greater surface area of the flour. The content of proteins, lipids, ashes and fibers was higher in relation to RF ( $P < 0.05$ ) (Table 12), which was expected because, through the complete milling of the grains, the germ, rich in lipids and the outer layers (bran and aleurone), rich in proteins, mineral matter and fibers, were maintained in the flour composition.

The wet gluten represents a measure of the ability of proteins to aggregate. The wet gluten values of the flours of medium and coarse particle size were significantly lower in relation to RF (Table 12). This was because larger the particle size, greater the difficulty in aggregation of gluten proteins, a behavior that can be attributed to the

larger surface area of the bran in the larger particle size samples. Steglich et al. (2015) studied the impact of bran particle size on the mass microstructure and observed that smaller bran particles may be more flexible, and therefore easier to incorporate into the gluten matrix. According to these authors, bran with a larger particle size allows attachment to other bran particles. Therefore, aggregated bran particles that are more rigid, may damage the aggregation of gluten. This change with variation in particle size is consistent with the studies of Liu et al. (2015), who observed differences in gluten aggregation, studying different grinding processes in the quality of wheat flour. For flour intended for bread making, certain levels of damaged starch are essential to provide fermentable sugars, and thus promote fermentation activity. Studies have shown that flour has the best baking performance when the starch damage is between 4.5 and 8.0%. (GAINES 1985; DEXTER et al. 1994). However, very high amounts accelerate the enzymatic processes, providing changes such as sticky mass, reduced bread volume and changes in the colour of the crust (BARAK et al. 2014). The damaged starch content of RF (5.97%) was significantly higher ( $P < 0.05$ ) compared to flours obtained by whole grain milling (Table 12). Among the WG samples, the level of damaged starch increased with the degree of particle size reduction (Table 12) from 2.60% in the CG sample to 4.09% in the FG. These results demonstrate that longer the milling time of WG, greater the shear provided, thus causing greater damage to the flour starch.

The SRC test addresses the water absorption contributions of each component of the flour using different solvents. Thus, it relates the quality of flour to specific constituents (KWEON et al. 2009). As shown in Table 12, which compares the SRC of the four solvents of the WG samples with different particle sizes with that of the RF sample, the milling of the whole wheat grains resulted in a significant increase ( $P < 0.05$ ) in the values of W-SRC and SUC-SRC. W-SRC is related to the overall water retention capacity of the functional components of flour, including gluten proteins, damaged starch, and arabinoxylans (KWEON et al. 2011). Table 12 shows the significant impact that the particle size has on the water absorption capacity of the WG samples. With a higher damaged starch content, which absorbs more water, the FG sample presented a higher W-SRC value (85.76%), while the MG and CG samples were not significantly different.

The higher value of W-SRC found for FG is in agreement with the greater water absorption shown by the Mixolab between the samples of whole flour (Table 13). SC-SRC is related to the amount of damaged starch in the flour.

**Tabela 12.** Effect of whole milling of wheat grains and particle size on the physicochemical properties of flour

Parameters	Samples (n = 3)			
	RF	FG	MG	CG
Moisture	14,08a ± 0,12	11,68c ± 0,13	12,62b ± 0,14	12,44b ± 0,10
Protein	13,85b ± 0,06	14,98a ± 0,08	14,81a ± 0,13	14,72a ± 0,16
Fat	1,59b ± 0,08	1,97a ± 0,35	1,94a ± 0,16	1,93a ± 0,12
Ash (g/100g)	0,56b ± 0,02	1,70a ± 0,00	1,70a ± 0,02	1,67a ± 0,01
Dietary fiber	3,61c ± 0,02	12,45 b ± 0,71	14,95a ± 0,04	15,95a ± 0,15
Wet gluten	40,64a ± 0,22	39,29a ± 0,74	34,71b ± 0,70	25,03c ± 1,38
Damaged starch	5,97a ± 0,11	4,09b ± 0,14	3,39c ± 0,06	2,60d ± 0,14
W-SRC	70,02c ± 0,50	85,76a ± 0,20	77,61b ± 0,64	77,43b ± 0,41
SC-SRC (%)	100,68a ± 0,74	88,02b ± 0,60	78,82c ± 0,45	77,30d ± 0,34
LA-SRC	96,25a ± 0,46	90,39b ± 0,50	88,04c ± 0,34	78,23d ± 0,32
SUC-SRC	98,54c ± 0,38	112,72b ± 0,36	113,60b ± 0,41	129,41a ± 0,36

Mean values in the same row followed by different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ); results are a mean ± s.d.; RF – refined flour; FG – fine whole grain wheat flour; MG – medium whole grain wheat flour; CG – coarse whole grain wheat flour.

The lower values found in the WG samples, compared to RF, are attributed to the lower content of damaged starch caused by the milling process (Table 12). Among the WG, the SC-SRC was significantly ( $P < 0.05$ ) affected by the variation in particle size, increasing from 77.30% to 88.02%, as the particle size was reduced. The increase in SCSRC was positively correlated with the damaged starch content ( $r = 0.98$ ), indicating a higher interaction of sodium carbonate with damaged starch components. LA-SRC refers to the resistance of gluten. The lowest values found for the WG samples, relative to RF, were confirmed by a trend of reduction in the gluten aggregation values (Table 12) and stability found in the Mixolab (Table 13). SUC-SRC provides an indication of the content of arabinoxylans in the flour (GAINES 2000). Arabinoxylans are highly hydrophilic structural carbohydrates that absorb 10–18 times the weight of water (Sanz Penella 2008). With the presence of the outer layers in the composition of WG samples, flours with a higher concentration of arabinoxylans were produced, resulting in higher SUC-SRC indexes, as compared to RF.

### 5.3.2 *Effect of particle size on the WG Mixolab profile*

In the Mixolab analysis, two phases were observed: the first phase determined the protein properties during mixing of the dough at 30°C, and the second phase, the properties of starch paste. Different Mixolab curves were obtained for the RF and WG samples (Figure 18). The similarity of the curves observed in the initial part of the process occurred due to the adjustment made by the addition of water to obtain the same dough consistency (1.1 Nm). However, during the heating and cooling phases of the analysis process, the curves showed significant differences in consistency (Table 13).

Under the condition  $C1 = 1.1 \pm 0.05$  Nm, the water uptake of the WG samples presented significantly higher values ( $P < 0.05$ ) than RF, except for the CG sample. Among the WG, the particle size considerably affected the water absorption, with the FG sample having the highest water absorption, followed by MG and CG. This is due to the higher contact surface of the particles, which provides greater exposure for the hydroxyl groups present in the fiber structure, and thus greater interactions with water through the hydrogen bonds in smaller particle sizes of bran (SANZ PENELLA 2008). A similar trend was observed by Xiong et al. (2017), who evaluated the influence of bran particle size distribution on protein polymerization and water mobility of whole wheat flour. Compared to WG with finer particle sizes, a significant increase was

observed in the dough development time parameter which measures the time between the addition of water and the time when the dough attains the optimal elastic and viscous properties for flour with a coarser particle size with respect to the other two WG particle size (VIZITIU & DANCIU 2011). This phenomenon was probably due to the interference caused by the presence of bran during gluten development; this interference can give rise to conditions such as water absorption velocity that is slower in larger particle sizes (SANZ PENELLA 2008), and formation of physical obstacles that lead to a reduction in the connectivity of the gluten network. Similar results were reported by Liu et al. (2016) and Wang et al. (2017), when they evaluated reconstituted wheat flour of different particle sizes using the Mixolab technique.

The stability of the dough, a parameter related to the flour strength, significantly decreased ( $P < 0.05$ ) in the WG samples when compared to the RF value. In the WG samples, the competition for water by bran components, such as arabinoxylans, is the main interference in the proper development of gluten, reducing gluten strength (LI et al. 2012; NIU et al. 2014). As major non-starch polysaccharides in WG samples, arabinoxylans can bind strongly to the water in the dough and reduce its availability, which is ideal for optimal gluten formation. However, the dough stability of WG increased with the reduction in particle size, indicating that WGs of finer particle size are more tolerant to the mixing process and provide stronger dough. NIU et al. (2014) studied the effects of fine grinding on the quality attributes of reconstituted whole grain flour, and also observed a significant increase ( $P < 0.05$ ) in the stability time when reducing the average particle size from about 206 to 140  $\mu\text{m}$ .

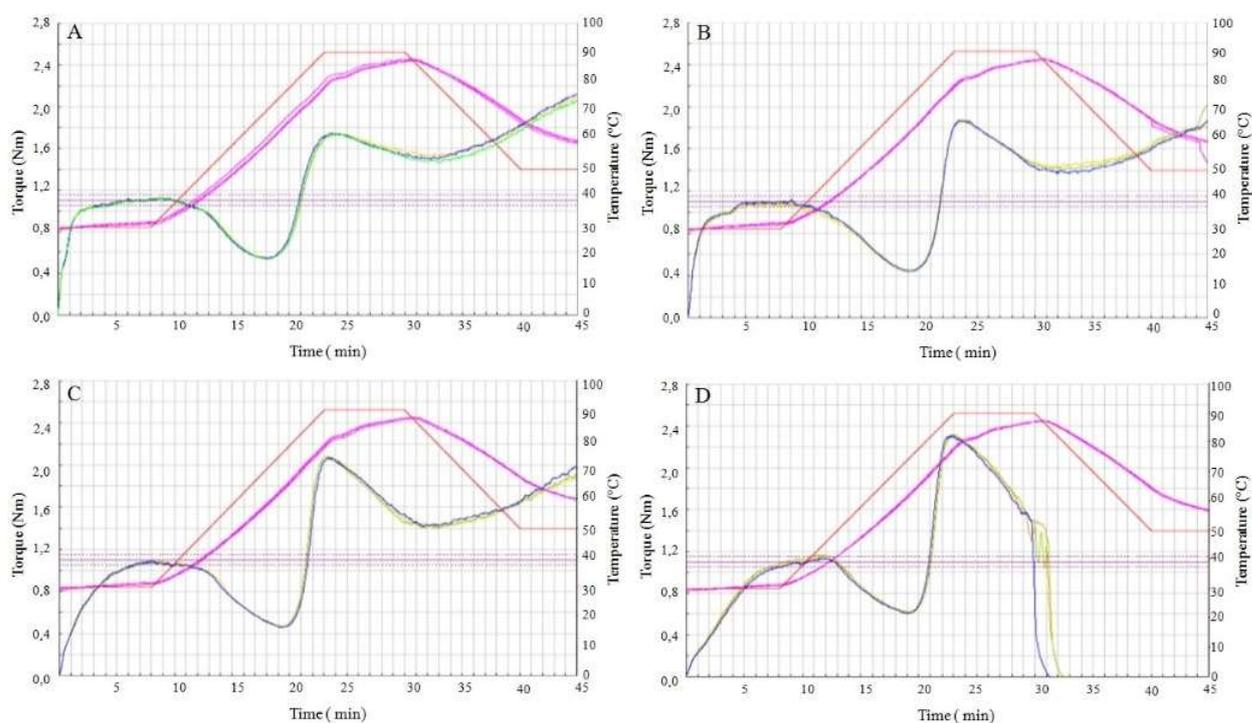
When the temperature of the dough is raised from 30°C at a rate of 4.0°C/min, the gluten proteins weaken and the consistency of the dough decreases till it reaches the parameter C2. The fine and médium whole grain flours had lower C2 values, with a decrease of 18.51% (FG) and 14.81% (MG), respectively with respect to RF (0.54 Nm) (Table 13). This shows that with increasing temperature and exposure to physical-mechanical stress, the dough strength of whole grain flours decreases due to weakening of the proteins. The highest value of C2 obtained for CG in this study is related to the aggregation difficulty of gluten proteins, a result that is in agreement with the results obtained for the wet gluten parameter (Table 12). In WG with larger particle size, the lack of aggregation provides lower overall gluten yield, resulting in lower protein weakening, and higher torque (C2). Therefore, as observed with CG, where C2

values increased, the particle size effect of WG on C2 may be the result of gluten dilution and fiber interference in protein unfolding.

The last stage of the Mixolab test shows the properties of the starch paste in the dough system. Torque C3 (Nm) represents the degree of gelatinization of the starch and the maximum viscosity, indicating towards the susceptible viscous load produced during the mixing (HUANG et al. 2010). The value of the peak torque (C3) was significantly affected by particle size of WG and resulted in a linear increase of this parameter with the increase in particle size (Table 13). For CG, a significant increase was observed, 24.19 and 11.59% of peak torque when compared to FG and MG, respectively. These changes were caused by the fact that fine particle size flours retain more water than coarse particle size flours; hence, there is less water available, which would hinder swelling of starch granules. Similar behaviour was reported by Lauková et al. (2017) when studying the effects of cellulose fiber length on the rheological properties of wheat dough, and by Blanco Canalis et al. (2019) when analyzing the incorporation of dietary fiber in cookie dough. The swelling of starch is greatly dependent on the water available in the medium, which controls the gelatinization behavior (LEÓN et al. 1997). In the system used in this study, a limited amount of water was available for the starch gelatinization, thus different effects were exerted by the particle size. This modification is the one that can occur in the wheat dough during bread making. In contrast to our results, Wang et al. (2017) studied the effects of particle size on the quality attributes of reconstituted whole grain wheat flour, and showed lower C3 values. Liu et al. (2016) studied reconstituted whole grain wheat flour, and reported smaller values of C3 with respect to RF, but without a significant difference in the variation in particle size. The results herein showed that the WG can exhibit adverse behavior related to particle size, reaffirming the hypothesis by Drakos et al. (2017), that stated that the complexity of the flour matrix and the milling parameters, are important for gel formation as they define the interactions between the various constituents and water.

C4 values indicate the stability of the hot-formed gel. The WG with fine and medium particle sizes showed no significant difference in gel stability with respect to RF. However, the CG presented a marked reduction (69%) when compared to RF. The observed decrease in gel stability for CG suggests that the gel formed is weakened by the presence of fibers in the matrix, in particular by fibers having greater particle size and insolubility. Torque C5 measures the final viscosity, which is reached during the

sample cooling process and is generally related to the starch retrogradation (TENG et al. 2015). Table 13 shows that the value of C5 significantly decreased for WG of medium and fine particle size, relative to RF, but did not show a significant difference between these two WG particle sizes. The capacity of high fiber to absorb water makes it less available for retrogradation, as can be observed in this study. This reduced rearrangement of the starch may be beneficial for delaying the hardening of bakery products during storage (CAI et al. 2014). Despite presenting susceptible viscous loading results and gel stability, CG did not show any re-association between the molecules, mainly amylose, to provide a viscosity increase (Figure 18D). Probably, this phenomenon occurred due to the low availability of water in the medium due to the presence of the fibers. The pronounced drop in viscosity and impossibility of torque quantification in the CG reflects the complexity of the WG matrix, as well the interactions between the constituents of the flour and the water, which are strongly influenced by the particle size.



**Figure 18.** Mixolab curves of refined flour and whole grain wheat flour with different particle sizes: (A) refined flour (82.67  $\mu\text{m}$ ), (B) fine whole grain wheat flour (194.98  $\mu\text{m}$ ), (C) medium whole grain wheat flour (608.44  $\mu\text{m}$ ), and (D) coarse whole grain wheat flour (830.00  $\mu\text{m}$ ).

**Tabela 13.** Effect of particle size on the Mixolab parameters of refined flour and whole grain wheat flour

Parameters Mixolab	Samples				
	RF	FG	MG	CG	
Absorption (%)	65,03 <sup>c</sup> ± 0,05	70,06 <sup>a</sup> ± 0,05	67,46 <sup>b</sup> ± 0,05	65,03 <sup>c</sup> ± 0,05	
TDM (min)	8,84 <sup>b</sup> ± 0,18	7,70 <sup>b</sup> ± 1,08	7,87 <sup>b</sup> ± 0,25	11,65 <sup>a</sup> ± 0,39	
Stability (min)	11,33 <sup>a</sup> ± 0,11	10,52 <sup>b</sup> ± 0,45	9,24 <sup>c</sup> ± 0,12	7,83 <sup>d</sup> ± 0,17	
Torque (Nm)	C2	0,54 <sup>b</sup> ± 0,01	0,44 <sup>d</sup> ± 0,01	0,46 <sup>c</sup> ± 0,01	0,61 <sup>a</sup> ± 0,01
	C3	1,74 <sup>d</sup> ± 0,01	1,86 <sup>c</sup> ± 0,01	2,07 <sup>b</sup> ± 0,01	2,31 <sup>a</sup> ± 0,01
	C4	1,49 <sup>a</sup> ± 0,03	1,40 <sup>ab</sup> ± 0,03	1,41 <sup>ab</sup> ± 0,02	1,03 <sup>b</sup> ± 0,29
	C5	2,09 <sup>a</sup> ± 0,03	1,90 <sup>b</sup> ± 0,09	1,92 <sup>b</sup> ± 0,05	0,00 <sup>c</sup> ± 0,00

Mean values in the same row followed by different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ); values are a mean  $\pm$  s.d.; RF –refined flour; FG – fine whole grain wheat flour; MG – medium whole grain wheat flour, CG – coarse whole grain wheat flour

#### 5.4 Conclusions

The integral grinding of wheat grains with different particle size ranges significantly altered the thermo-mechanical properties evaluated by the Mixolab technique. In general, a deleterious effect on time of dough development, gluten strength, starch gelatinization and the retrogradation was intensified by the presence of all constituents of the grain in the wheat mass formulation when compared to RF. Based on the Mixolab curves, the particle size distribution played an important role in the WG thermomechanical properties, presenting different technological qualities. The stages of the Mixolab curves showed that the quality of the protein (C2) and the differences between the WG particle sizes with respect to the stability and development time, are broadly correlated with the quality of the gluten network. Coarse particles, such as those represented by CG, have a greater impact on the gluten network, and present lower stability and longer development time. It also demonstrates that the Mixolab has the ability to generate correlated data for characteristics such as

wet gluten and W-SRC. However, the Mixolab curves stage that described the characteristics of starch (C3, C4, and C5) demonstrated that in the WG samples, the presence of fibers limited the availability of water to the starch, and that this effect was especially strong for flour with finer particle size, which also had the highest rate of absorption. Based on the present results, we report that the Mixolab equipment allows a better understanding of the WG functionality with regard to the behavior of the protein properties. However, properties of starch, such as degree of gelatinization, gel stability, and retrogradation are influenced by the availability of water in the formed mass system. These data are relevant because differences in particle size distribution affect functionality, sensory acceptability, nutritional properties, and shelf life of whole wheat flour.

## **5.5 Estudos futuros**

Como continuação deste trabalho, as farinhas serão avaliadas quanto a qualidade funcional através do equipamento GlutoPeak.

O GlutoPeak é um dispositivo rápido baseado em cisalhamento que mede o comportamento de agregação de glúten para avaliação da qualidade da farinha de trigo. Ao misturar quantidades adequadas de farinha e solvente a uma determinada velocidade, o glúten é separado pela rotação da pá, resultando em agregação. Neste ponto, a massa agregada de glúten exerce uma força resistente na pá, resultando na geração de uma curva de torque. A curva registra a complexidade da agregação e quebra do glúten, fornecendo o tempo máximo de pico e o torque máximo. Alta sensibilidade, curto tempo de análise e pequenos requisitos de amostra são os principais recursos da nova técnica.

O objetivo será avaliar a agregação do glúten das FTI com diferentes tamanhos de partícula e cultivares, bem como verificar o desempenho da nova técnica de análise “GlutoPeak” para farinhas integrais. O conjunto de resultados será comparado com outros a medição realizada pelo método de glúten úmido e propriedades farinográficas.

## 6 Considerações finais

O tamanho de partícula, cultivar e a interação entre eles influenciaram significativamente as propriedades de hidratação da FTI e na qualidade dos biscoitos tipo *cookie*, com diferentes níveis de variação. A avaliação das propriedades de hidratação das farinhas por duas categorias diferenciadas de métodos, com e sem exposição de forças externas demonstrou que presença das camadas externas do grão na composição da farinha promove mecanismos diferenciados na capacidade de absorção de água. Além disso, demonstrou que constituintes da farinha responsáveis pela absorção de água, como teor de amido danificado e arabinosilanas podem apresentar comportamento diferenciado com a variação no tamanho de partícula. Desta forma, os atributos de qualidade da FTI em relação as propriedades de hidratação podem ser previstas através da seleção antecipada da cultivar e com base na distribuição granulométrica das partículas durante o processo de moagem. A FTI com perfil genotípico de menor concentração de arabinosilanas totais, menor teor de amido danificado e maior tamanho de partícula da cultivar ORS Vintecinco apresentou as melhores propriedades de hidratação para a performance e qualidade desejada de biscoitos integrais.

Os biscoitos elaborados com FTIG apresentaram melhores características de qualidade, apresentando maior diâmetro, fator de propagação e menor espessura e dureza. Entre as farinhas avaliadas, FTIM e FTIG apresentaram as características mais próximas as desejáveis para biscoitos tipo *cookie*. A estratégia de seleção de características genotípicas específicas combinada a condições de moagem demonstrou ser adequada para obtenção de características de qualidade aceitáveis de FTI destinada a produção de biscoitos tipo *cookie*.

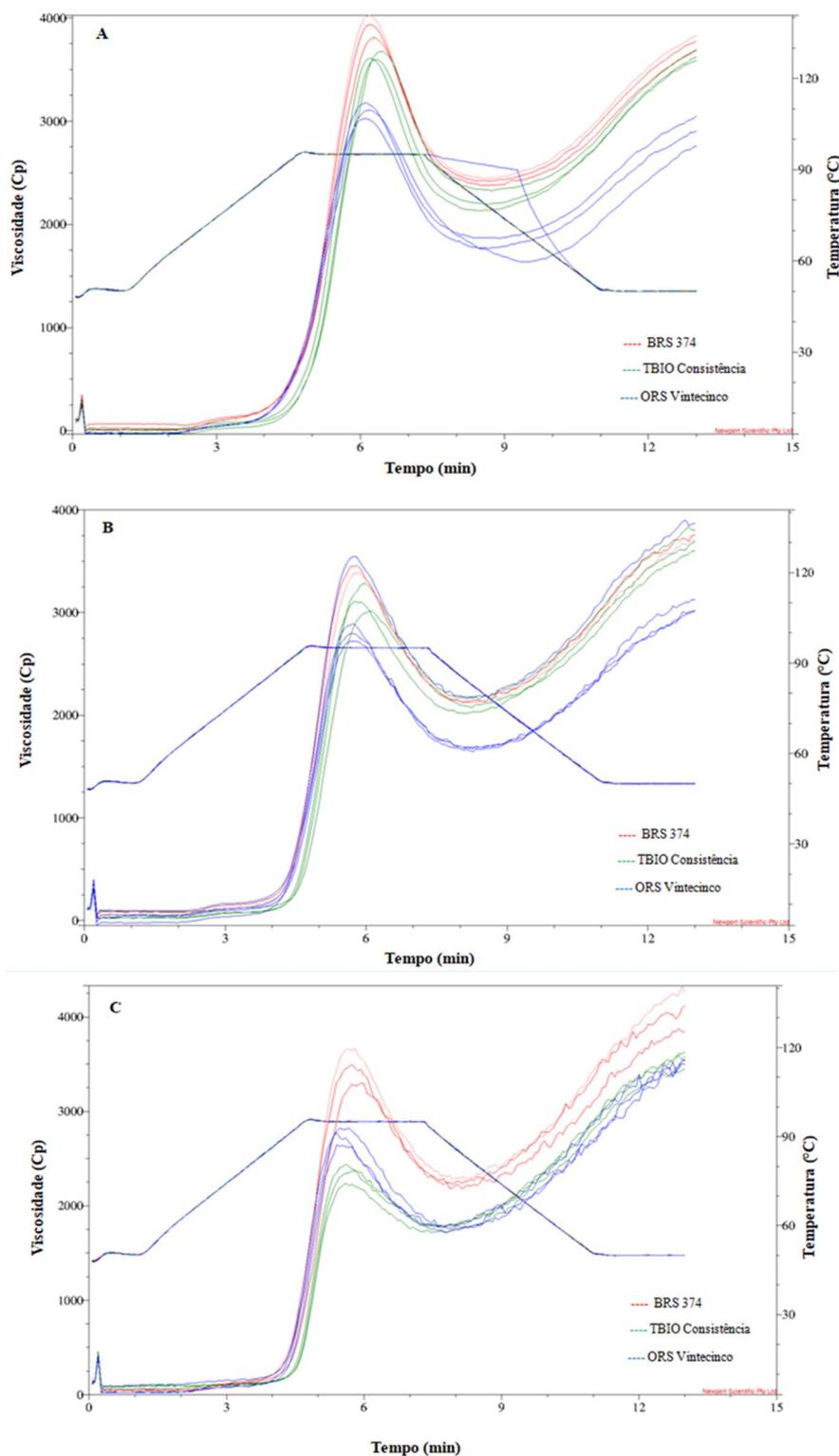
## APÊNDICE A

Atividade de água de biscoitos de FTI de diferentes tamanhos de partícula e cultivares durante 30 dias de armazenamento.

Farinhas	Dias	Cultivares de Trigo		
		ORS Vintecinco	BRS 374	TBIO
<b><i>a<sub>w</sub></i></b>				
FTIF	0	0,44 ± 0,01 <sup>Ca</sup>	0,47 ± 0,00 <sup>Ab</sup>	0,45 ± 0,01 <sup>Ba</sup>
FTIM		0,48 ± 0,00 <sup>Ba</sup>	0,46 ± 0,01 <sup>Ab</sup>	0,50 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
FTIG		0,51 ± 0,00 <sup>Aa</sup>	0,45 ± 0,01 <sup>Ab</sup>	0,46 ± 0,00 <sup>Bb</sup>
FTIF	5	0,50 ± 0,00 <sup>Bb</sup>	0,49 ± 0,01 <sup>Ac</sup>	0,51 ± 0,00 <sup>Ba</sup>
FTIM		0,49 ± 0,01 <sup>Cb</sup>	0,49 ± 0,01 <sup>Ab</sup>	0,53 ± 0,00 <sup>Aa</sup>
FTIG		0,52 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	0,47 ± 0,00 <sup>Bb</sup>	0,47 ± 0,00 <sup>Cb</sup>
FTIF	10	0,50 ± 0,01 <sup>Bb</sup>	0,50 ± 0,00 <sup>Ab</sup>	0,51 ± 0,01 <sup>Ba</sup>
FTIM		0,49 ± 0,00 <sup>Ba</sup>	0,50 ± 0,00 <sup>Ab</sup>	0,55 ± 0,00 <sup>Aa</sup>
FTIG		0,55 ± 0,00 <sup>Aa</sup>	0,50 ± 0,00 <sup>Ab</sup>	0,50 ± 0,00 <sup>Cb</sup>
FTIF	15	0,50 ± 0,00 <sup>Bb</sup>	0,51 ± 0,01 <sup>Bb</sup>	0,52 ± 0,00 <sup>Ba</sup>
FTIM		0,51 ± 0,00 <sup>Bb</sup>	0,52 ± 0,00 <sup>ABb</sup>	0,55 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
FTIG		0,55 ± 0,00 <sup>Aa</sup>	0,52 ± 0,00 <sup>Ab</sup>	0,55 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
FTIF	20	0,52 ± 0,00 <sup>Ba</sup>	0,53 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	0,50 ± 0,06 <sup>Aa</sup>
FTIM		0,53 ± 0,00 <sup>Bb</sup>	0,54 ± 0,01 <sup>Ab</sup>	0,57 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
FTIG		0,57 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	0,54 ± 0,01 <sup>Ac</sup>	0,56 ± 0,01 <sup>Bb</sup>
FTIF	25	0,55 ± 0,00 <sup>Ca</sup>	0,55 ± 0,00 <sup>Ba</sup>	0,55 ± 0,01 <sup>Ca</sup>
FTIM		0,58 ± 0,00 <sup>Bb</sup>	0,57 ± 0,01 <sup>Ab</sup>	0,58 ± 0,00 <sup>Aa</sup>
FTIG		0,59 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	0,57 ± 0,01 <sup>Ab</sup>	0,57 ± 0,00 <sup>Ba</sup>
FTIF	30	0,59 ± 0,00 <sup>Ba</sup>	0,58 ± 0,00 <sup>Bb</sup>	0,57 ± 0,00 <sup>Bb</sup>
FTIM		0,59 ± 0,00 <sup>Ba</sup>	0,60 ± 0,00 <sup>Aa</sup>	0,61 ± 0,01 <sup>Aa</sup>
FTIG		0,61 ± 0,00 <sup>Aa</sup>	0,60 ± 0,00 <sup>Aa</sup>	0,60 ± 0,01 <sup>Aa</sup>

\*Letras maiúsculas distintas na mesma coluna e minúsculas na mesma linha representam, respectivamente, uma diferença significativa entre tamanhos de partículas e cultivares, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. FTIF: farinha de trigo integral fina. FTIM: farinha de trigo integral média. FTIG: farinha de trigo integral grossa.

## APÊNDICE B



Propriedades de pasta das farinhas de trigo de grão inteiro com diferentes tamanhos de partícula e cultivares. FTGIF (A), FTGIM (B) e FTGIG (C). FTGIF: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Fina. FTGIM: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Média. FTGIG: Farinha de Trigo de Grão Inteiro Grossa.

## 7 Referências

AACC Approved Methods of Analysis. Cereal & Grains Association. 11 ed. Saint Paul, MN, U.S.A, 2010.

AACC International. Whole grains definition. Published online at [www.aaccnet.org/initiatives/definitions/Pages/WholeGrain.aspx](http://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/Pages/WholeGrain.aspx). The Association, St. Paul, MN, 1999.

ANGELIDIS, G.; PROTONOTARIOU, S.; MANDALA, I.; ROSELL, C. M. Jet milling effect on wheat flour characteristics and starch hydrolysis. *Journal of Food Science and Technology*, v. 53, n.1, p. 784-791, 2016.

ANTOINE, C., PEYRON, S., LULLIEN-PELLERIN, V., ABECASSIS, J., ROUAU, X. Wheat bran tissue fractionation using biochemical markers. *Journal of Cereal Science*, v.39 (3), p. 387–393, 2004.

APPRICH, S., TIRPANALAN, Ö., HELL, J., REISINGER, M., BÖHMDORFER, S., SIEBENHANDLEHN, S., NOVALIN, S., KNEIFEL, W. Wheat bran-based biorefinery 2: valorization of products. *Journal of Food Science and Technology*, v. 56, p. 222–231, 2014.

AUTIO, K. Effects of cell wall components on the functionality of wheat gluten. *Biotechnol*, v. 24, p. 633–635, 2006.

BALTSAVIAS, A.; JURGENS, A.; VAN VLIET, T. Properties of short-dough biscuits in relation to structure. *Journal of Cereal Science*, v. 29, p. 245–255, 1999d.

BALTSAVIAS, A.; JURGENS, A.; VAN VLIET, T. Rheological properties of short doughs at small deformation. *Journal of Cereal Science*, v. 26, p. 289-300, 1997.

BANU I., STOENESCU G., IONESCU V., APRODU I. Estimation of the baking quality of wheat flours based on rheological parameters of the Mixolab curve. *Czech Journal of Food Sciences*, v. 29, p. 35-44, 2011.

BARAK S., MUDGIL D., KHATKAR B.S. Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies. *Journal of Food Science and Technology*, v. 51, p.1342-1348, 2014.

BAUMGARTNER, B.; ÖZKAYA, B.; SAKA, I.; ÖZKAYA, H. Functional and physical properties of cookies enriched with dephytinized oat bran. *Journal Cereal Science*, v. 80, p. 24-30, 2018.

BETTGE, A.D.; MORRIS C.F. Oxidative gelation measurement and influence on soft wheat batter viscosity and end-use quality *Cereal Chemistry*, v. 84, p. 237-242, 2007.

BILIADERIS, C.G.; IZYDORCZYK, M.S.; RATTAN, O. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chemistry*, v. 53, p.165-171, 1995.

BLANCO CANALIS, M.S.; LEÓN, A.E; RIBOTTA, P.D. Incorporation of dietary fiber on the cookie dough. Effects on thermal properties and water availability. *Food Chemistry*, v. 271, p. 309-317, 2019.

BOITA, E.R.; ORO, T.; BRESSIANI, J.; SANTETTI, G.S.; BERTOLIN, T.E.; GUTKOSKI, L.C. Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. *Journal Cereal Science*, v.71, p. 177–182, 2016.

- 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 nonfermented food gel. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 646-655, 2009.
- BRESSIANI, J.; ORO, T.; SANTETTI, G.S.; ALMEIDA, J.L.; BERTOLIN, T.E.; GÓMEZ, M.; GUTKOSKI, L.C. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 269-277, 2017.
- CAI, L.; CHOI, I.; HYUN, J.-N.; JEONG, Y.-K.; BAIK, B.-K. (2014). Influence of bran particle size on bread-baking quality of whole grain wheat flour and starch retrogradation. **Cereal Chemistry**, v.91, p. 65-71, 2014.
- CAI, L.; CHOI, I.; LEE, C.K.; PARK, K.K.; BAIK, B.K. Bran characteristics and bread-baking quality of whole grain wheat flour. **Cereal Chemistry**, v. 91, p. 398-405, 2014.
- CAPREZ, A., ARRIGONI, E.; AMADO, R.; NEUKOM, H. Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 4(3), p. 233–239, 1986.
- CARNEL, S.; BENSON, L.; GIBSON, E.L.; MAIS, L. A.; WARKENTIN, S. Caloric compensation in preschool children: relationships with body mass and differences by food category. **Appetite**, v. 116, p. 82–89, 2017.
- CHAPLIN, M. F. (2003). Fibre and water binding. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, p. 223-227, 2003.
- CHEN, J.S.; FEI, M.J.; SHI, C.L.; TIAN, J.C.; SUN, C.L.; ZHANG, H.; MA, Z., DONG; H.X. Effect of particle size and addition level of wheat bran on quality of dry white Chinese noodles. **Journal Cereal Science**, v. 53, p. 217-224, 2011.
- CHEVALLIER, S.; COLONNA, P.; BUL´EON, A.; DELLAVALLE, G. Physicochemical behaviors of sugars, lipids, and gluten in short dough and biscuit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p.1322–1326, 2000a.
- CHEVALLIER, S.; COLONNA, P.; DELLA VALLE, G.; LOURDIN, D. Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems. **Journal of Cereal Science**, v. 31, p. 241–252, 2000b.
- COLE, E. W.; MECHAM, D.K.; PENCE, J. W. Effect of flour lipids and some derivatives on cookie-baking characteristics of lipid-free flour. **Cereal Chemistry**, v. 37, p. 109-121, 1960.
- CONAB – Companhia nacional de abastecimento. Safra Brasileira de grãos. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 10 de outubro de 2019.
- COURTIN C. M, DELCOUR J.A. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. **Journal of Cereal Science**, v.35, p. 225–243, 2002.
- COURTIN, C. M.; ROELANTS, A.; DELCOUR, J. A. Fractionation reconstitution experiments provide insight into the role of endoxylanases in breadmaking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 1870–1877, 1999.
- COURTIN, C.M.; DELCOUR, J.A. Relative activity of endoxylanases towards water-extractable and water-unextractable arabinoxylan. **Journal of Cereal Science**, v. 33, p. 301-312, 2001.

DERVILLY-PINEL, G.; RIMSTTEN, L.; SAULNIER, L.; ANDERSSON, R.; AMAN, P. Water-extractable arabinoxylans from pearled flours of wheat, barley and triticale. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p. 207-214, 2001.

DEVI, A.; KHATKAR, B.S. Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 3633-3641, 2016.

DEXTER JE., MARTIN DG, SADARANGANEY GT., MICHAELIDES J., MATHIESON N., TKAC JJ., MARCHYLO BA. Preprocessing – Effects on durum-wheat milling and spaghetti-making quality. **Cereal Chemistry**, v. 71, p.10–16, 1994.

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.

DOESCHER, L. C.; HOSENEY, R. C. Effect of sugar type and flour moisture on surface cracking of sugar-snap cookies. **Cereal Chemistry**, v. 62, p. 263–266, 1985.

DOESCHER, L. C.; HOSENEY, R. C.; MILLIKEN, G. A. A mechanism for cookie dough setting. **Cereal Chemistry**, v. 64, p. 158–163, 1987a.

DONELSON, J. R.; GAINES, C. S. Starch-water relationships in the sugar snap cookie dough system. **Cereal Chemistry**, v. 75, p. 660–664, 1998.

DORNEZ ,E.; HOLOPAINEN,U.; CUYVERS , S.; POUTANEN ,K. ; DELCOUR , J.A.; COURTIN , C.M.; NORDLUND, E. **Study of grain cell wall structures by microscopic analysis with four different staining techniques**. Journal of Cereal Science , v.54,n. 3, p. 363 - 373 2011.

DOUGLAS, S. G. A rapid method for the determination of pentosans in wheat flour. **Food Chemistry**, v. 7, p. 139–146, 1981.

DRAKOS, A.; KYRIAKAKIS, G.; EVAGELIOU, V.; PROTONOTARIOU, I. M.; RITZOULIS, C. Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours. **Food Chemistry**, v. 215, p. 326-332, 2017.

DUYVEJONCK, A. E., LAGRAIN, B., DORNEZ, E., DELCOUR, J. A., COURTIN, C. M. Suitability of solvent retention capacity tests to assess the cookie and bread making quality of European wheat flours. **LWT-Food Science and Technology**, v. 47, p. 56–63, 2012.

ENSLIN, O. Über einen apparatur messung der flüssigkeitsaufnahme von quellbaren und porösen stoffen und zur charakterisierung der benetzbarkeit. **Die Chemische Fabrik**, v.13, p. 147-148, 1933.

FADEL, A., PLUNKETT, A., LI, W., GYAMFI, T., ELEWOSI, V., NYARANGA, R.R., FADEL, F., DAKAK, S., RANNEH, Y., SALMON, Y. Modulation of innate and adaptive immune responses by arabinoxylans. **Journal of Food Biochemistry**. p. 1–14, 2017.

FADEL, L.; JASHWORTH, J.; PLUNKETT, A.; MAHMOUD, A.M.; RANNEH, Y.; LI, W. Improving the extractability of arabinoxylans and the molecular weight of wheat endosperm using extrusion processing . **Journal of Cereal Science**, v. 84, p. 55-61, 2018.

FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. Estatísticas. Disponível em: <<http://www.fao.org/statistics/en/>>. Acesso em 10 de outubro de 2019.

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.

FINNIE, S. M.; BETTGE, A. D.; MORRIS, C. F. Influence of cultivar and environment on water-soluble and water-insoluble arabinoxylans in soft wheat. **Cereal Chemistry**, v. 83, n. 6, p. 617–623, 2006.

FOLLONI, S.; RANIERI, R. Whole grain products in (Southern) Europe: Consumer trends and technological implications. In: *Proceedings Whole Grains Summit*, 2012.

FROLICH, W.; AMAN, P; TETENS, I. Whole grain foods and health a Scandinavian perspective. **Food & Nutrition Research**, v. 57, p. 18503, 2013.

FUNG, T. T.; HU, F. B.; PEREIRA, M. A.; LIU, S.; STAMPFER, M. J.; COLDITZ, G. A.; WILLETT, W. C. Whole-grain intake and the risk of type 2 diabetes: A prospective study in men. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, p. 535, 2002.

GAINES C. S. Associations among soft wheat flour particle size, protein content, chlorine response, kernels hardness, milling quality, white layer cake volume, and sugar-snap cookie spread. **Cereal Chemistry**, v. 62, p. 290–292, 1985.

GAINES C.S. Collaborative study of methods for solvent retention capacity profiles. **Cereal Food World**, v.45, p.303-306, 2000.

GAINES, C. S. Influence of chemical and physical modification of soft wheat protein on sugar-snap cookie dough consistency, cookie size, and hardness. **Cereal Chemistry**, v. 67, p. 73–77, 1990.

GAINES, C. S.; FINNEY, P. L. Effect of selected commercial enzymes on cookie spread and cookie dough consistency. **Cereal Chemistry**, v. 66, p. 73–78, 1989.

GAINES, C. S.; RAEKER, M. Ö.; TILLEY, M.; FINNEY, P. L.; WILSON, J. D.; BECHTEL, D. B.; MARTIN, R. J.; SEIB, P. A.; LOOKHART, G. L.; DONELSON, T. Associations of starch gel hardness, granule size, waxy allelic expression, thermal pasting, milling quality, and kernel texture of 12 soft wheat cultivars. **Cereal Chemistry**, v.77, p.163-168, 2000.

GARCIA, A.L.; OTTO, B.; REICH, S.C.; WEICKERT, M.O.; STEINIGER, J.; MACHOWETZ, A.; RUDOVICH, N.N.; MOHLIG, M.; KATZ, N.; SPETH, M.; MEUSER, F.; DOERFER, J.; ZUNFT, H.J.; PFEIFFER, A.H.; KOEBNICK, C. Arabinoxylan consumption decreases postprandial serum glucose, serum insulin and plasma total ghrelin response in subjects with impaired glucose tolerance. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 61 (3) p. 334–341, 2007.

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 there of in wheats in the health grain diversity screen. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 9740-9749, 2008.

GEISSMAN, T., & NEUKOM, H. A note on ferulic acid as a constituent of water insoluble pentosans of wheat flour. **Cereal Chemistry**, v.50, p. 414-416, 1973.

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

- GUJRAL, H. S., MEHTA, S., SAMRA, I. S., & GOYAL, P. Effect of wheat bran, coarse wheat flour, and rice flour on the instrumental texture of cookies. **International Journal of Food Properties**, v. 6(2), p. 329-340, 2003.
- HAN, J.A., LIM, S.T. Structural changes in corn starches during alkaline dissolution by vortexing, **Carbohydrate Polymers**, 55, 193–199, 2004.
- HARLAND, B.F.; HARLAND J. Fermented phytate reduction in rye, white and whole grain breads. **Cereal Chemistry**, v. 57, p. 226–229, 1980.
- HEMDANE, S., JACOBS, P.J., DORNEZ, E., VERSPREET, J., DELCOUR, J.A., COURTIN, C.M. Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: a critical review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. v. 15, p. 28-42, 2016a.
- HEMDANE, S., LANGENAEKEN, N.A., JACOBS, P.J., VERSPREET, J., DELCOUR, J.A., COURTIN, C.M. Study of the intrinsic properties of wheat bran and pearlings obtained by sequential debranning and their role in bran-enriched bread making. **Journal of Cereal Science**, v. 71, p.78–85, 2016b.
- HEMDANE, S.; LEYS, S., JACOBS, P. J.; DORNEZ, E.; DELCOUR, J. A.; COURTIN, C. M. Wheat milling by-products and their impact on bread making. **Food Chemistry**, v. 187, p.280– 289, 2015c.
- 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(5), p. 1429–1438, 2010.
- HEMERY, Y., CHAURAND, M., HOLOPAINEN, U., LAMPI, A.M., LEHTINEN, P., PIIRONEN, V. 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, p.1-8, 2011.
- HEMERY, Y., ROUAU, X., DRAGAN, C., BILICI, M., BELECA, R., & DASCALESCU, L. Electrostatic properties of wheat bran and its constitutive layers: Influence of particle size, composition, and moisture content. **Journal of Food Engineering**, v. 93, p. 114–124, 2009.
- HEMERY, Y.; ROUAU, X.; LULLIEN-PELLERIN, V. ; BARRON, C.; ABECASSIS, J. **Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality**. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 327-347, 2007.
- HENNESSY, A.; WALTON, J.; FLYNN, A. The impact of voluntary food fortification on micronutrient intakes and status in European countries: a review. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 72, p. 433–440, 2013.
- HERNÁNDEZ-ESPINOSA, N., MONDAL, S., AUTRIQUE, E., GONZALEZ- ANTOYO, H., CROSSA, J., HUERTA-ESPINO, J., SINGH, RP, GUZMÁN, C. Milling, processing and end-use quality traits of CIMMYT spring bread wheat germplasm under drought and heat stress. **Field Crops Research**, v. 215, p. 104-112, 2018.
- HIDALGO, A.; BRANDOLINI, A. Protein, ash, lutein and tocopherols distribution in einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) seed fractions. **Food Chemistry**, v. 107, p. 444–448, 2008.
- HIDALGO, A.; BRANDOLINI, A.; RATTI, S. Influence of genetic and environmental factors on selected nutritional traits of *Triticum monococcum*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 6342–6348, 2009.

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

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

HOSENEY, R. C.; ROGERS, D. E. Mechanism of sugar functionality in cookies. **The Science of Cookie and Cracker Production** p.203–225, 1994.

HOSSAIN, K.; ULVEN, C.; GLOVER, K.; GHAVAMI, F.; SIMSEK, S.; ALAMRI, M.; KUMAR, A.; MERGOUM M.. Interdependence of cultivar and environment on fiber composition in wheat bran. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, p. 525-531, 2013.

HUANG W., LI L., WANG F., WAN J., TILLEY M., REN C., WU S. Effects of transglutaminase on the rheological and Mixolab thermomechanical characteristics of oat dough. **Food Chemistry**, v. 121, p. 934-939, 2010.

HUEBNER, F.R. ; BIETZ, J.A. ; NELSEN, T. ; BAINS, G.S.; FINNEY, P.L. Soft wheat quality as related to protein composition. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 650-655, 1999.

IYAMA, K.; LAM, T.B.T.; STONE, B.A. Covalent cross-links in the cell wall. **Plant Physiol**, v. 104, p. 315-320, 1994.

JACOBS, P. J., HEMDANE, S., DORNEZ, E., DELCOUR, J. A., & COURTIN, C. M. Study of hydration properties of wheat bran as a function of particle size. **Food Chemistry**, v. 179, p. 296–304, 2015.

JACOBS, P.J., HEMDANE, S., DELCOUR, J.A., COURTIN, C.M. Dry heat treatment affects wheat bran surface properties and hydration kinetics. **Food Chemistry**. v, 03, p. 513-520, 2016.

JIRSA O., HRUSKOVA M., SVEC I. Bread features evaluation by NIR analysis. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 25, p. 243-248, 2007.

JONES, J. M.; ADAMS, J.; HARRIMAN, C.; MILLER, C.; VAN DER KAMP, J. Nutritional impacts of different whole grain milling techniques: a review of milling practices and existing data. **Cereal Foods World**, v. 60, n. 2, p. 130-139, 2015.

JONNALAGADDA, S.S.; HARNACK, L.; HAI, LIU. R.; MCKEOWN, N.; SEAL, C.; LIU, S.; FAHEY, G.C. Putting the whole grain puzzle together: health benefits associated with whole grains (summary of American Society for Nutrition 2010 Satellite symposium). *Journal of Nutrition*. 141:S1011–22, 2011.

KAMAL-ELDIN, A.; LAERKE, H. N.; KNUDSEN, K. B.; LAMBPI, A.; PIIRONEN, V. Physical, microscopic and chemical characterisation of industrial rye and wheat brans from the Nordic countries. *Journal Food & Nutrition Research*, v. 53, 2009.

KATINA, K., SALMENKALLIO-MARTTILA, M., PARTANEN, R., FORSSELL, P., AUTIO, K. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT- Food Science and Technology*, v. 39, p. 479-491, 2006.

KAUR, A., SINGH, N., KAUR, S., AHLAWAT, A. K., & SINGH, A. M. Relationships of flour retention capacity, secondary structure and rheological properties with the cookie making characteristics of wheat cultivars. **Food Chemistry**, v. 158, p. 48–55, 2014.

KHALID, K.H.; OHM, J.B.; SIMSEK S. Whole wheat bread: effect of bran fractions on dough and end-product quality. **Journal of Cereal Science**, v. 78, p. 48-56, 2017.

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

KISZONAS, A. M.; COURTIN, C. M.; MORRIS, C. F. A Critical Assessment of the Quantification of Wheat Grain Arabinoxylans Using a Phloroglucinol Colorimetric Assay. **Cereal Chemistry**, v. 89, n. 3, p. 143–150, 2012.

KOCHAR, J.; GAZIANO, J. M.; DJOUSSE, L. Breakfast cereals and risk of hypertension in the Physicians' Health Study I. **Clinical Nutrition**, v. 31, p. 89-92, 2012.

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.

KWEON M., SLADE L., LEVINE H. Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding e a review. **Cereal Chemistry**, v. 88, p. 537-552, 2011.

KWEON M., SLADE, L., LEVINE, H., MARTIN, R., ANDREWS L., SOUZA E. Effects of extent of chlorination, extraction rate, and particle size reduction on flour and gluten functionality explored by solvent retention capacity (SRC) and mixograph. **Cereal Chemistry**, v. 86, p. 221-224, 2009.

LANGÓ, B., BÓNA, L., KW NG, P., ÁCS, E., TÖRÖK, K., TÖMÖSKÖZI, S. Evaluation of carbohydrate properties and end-use quality of hexaploidtriticale and its relationship to solvent retention capacity. **Journal of Cereal Science**, v. 84, p. 95-102, 2018.

LAZARIDOU, A., VOURIS, D. G., ZOUMPOULAKIS, P., & BILIADERIS, C. G. Physicochemical properties of jet milled wheat flours and doughs. **Food Hydrocolloids**, v. 80, p. 111–121, 2018.

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.

LI, J.; KANG, J.; WANG, L.; LI, Z.; WANG, R.; CHEN, Z.X.; HOU, G.G. Effect of water migration between arabinoxylans and gluten on baking quality of whole wheat bread detected by magnetic resonance imaging (MRI). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 60, n. 26, p. 6507-6514, 2012.

LI, J.; HOU, G.; CHEN, Z.; CHUNG, A.L.; GEHRING, K. Studying the effects of whole-wheat flour on the rheological properties and the quality attributes of whole-wheat saltine cracker using SRC, alveograph, rheometer, and NMR technique. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, p. 43-50, 2014.

LIU C., LI L., HAO C., ZHENG X., BIAN K., ZHANG J., WANG X. Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making. **Food Science and Technology**, v. 62, p. 310-318, 2015.

LIU T., HOU GG., LEE B., MARQUART L., DUBAT A. Effects of particle size on the quality attributes of reconstituted whole wheat flour and tortillas made from it. **Journal Cereal Science**, v. 71, p.145-152, 2016.

- LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p.207-219, 2007.
- LIU, S.; MANSON, J. E.; STAMPFER, M. J.; REXRODE, K. M.; HU, F. B.; RIMM, E. B.; WILLETT, W. C. Whole grain consumption and risk of ischemic stroke in women: A prospective study. **Journal of the American Medical Association**, v. 284, p.1534, 2000.
- LIU,N.; MA, S.; LI, L.; WANG, X. Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 2, p. 1-5, 2019.
- LOPEZ, H. W.; DUCLOS, V.; COUDRAY, C.; KRESPINE, V.; FEILLET-COUDRAY, C.; MESSEGER, A.; DEMIGNE, C.; REMESY, C. Making bread with sourdough improves mineral bioavailability from reconstituted whole wheat flour in rats. **Nutrition**, v. 9, p. 524, 2003.
- 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.
- MALUNGA, L. N., IZYDORCZYK, M., AND BETA, T. Effect of water-extractable arabinoxylans from wheat aleurone and bran on lipid peroxidation and factors influencing their antioxidant capacity. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v.10, p. 20-26, 2017.
- MANLEY, D.. **Technology of biscuits, crackers and cookies**. 3<sup>rd</sup> ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000.
- MCKEOWN, N. M.; TROY, L. M.; JACQUES, P. F.; HOFFMANN, U.; O'DONNELL, C. J.; FOX, C. S. Whole- and refined-grain intakes are differentially associated with abdominal visceral and subcutaneous adiposity in healthy adults: The Framingham Heart Study. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 92, p. 1165, 2010.
- MENDIS, M.; SIMSEK, S. Arabinoxylans and human health. **Food Hydrocoll**, v.42 (Part 2) p. 239-243, 2014.
- MILLER, R. A.; HOSENEY, R. C. Factors in hard wheat flour responsible for reduced cookie spread. **Cereal Chemistry**, v. 74, p. 330–336, 1997.
- MILLER, R.A., MATHEW, R., HOSENEY, R.C. Use of a thermomechanical analyzer – study of an apparent glass transition in cookie dough. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 47, p. 1329–1338, 1996.
- MISRA, N. N., and B. K. TIWARI. 2014. **Biscuits**. In Bakery products science and technology, 2nd ed. pp. 585–601. Zhou, W., Hui, Y. H., Leyn, I. D., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D. and Therdthai, N., eds. John Wiley & Sons, West Sussex, UK.
- MPOFU, A., SAPIRSTEIN, H. D., & BETA, T. Genotype and environmental variation in phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of hard spring wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p.1265-1270, 2006.
- NANDEESH, K; JYOTSNA, R; VENKATESWARA RAO, G. Effect of differently treated wheat bran on rheology, microstructure and quality characteristics of soft dough biscuits. Karnataka, India . **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, p. 179–200, 2011.

NAVROTSKY, S.; GUO, G.; BAENZIGER, P. S.; XU, L.; ROSE, D.J. Impact of wheat bran physical properties and chemical composition on whole grain flour mixing and baking properties. **Journal of Cereal Science**, v. 89, p. 102790, 2019.

NIU, M. ; ZHANG, ; B. ; JIA, C.; ZHAO, S. Multi-scale structures and pasting characteristics of starch in whole-wheat flour treated by superfine grinding. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 104, p. 837-845, 2017.

NIU, N., HOU, G., LEE, B., CHEN, Z. Effects of fine grinding of millfeeds on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and its raw noodle products. **Food science & technology**, v. 57, p. 58-64, 2014.

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, p. 59–54, 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.

PAPANTONIOU, E.; HAMMOND, E. W.; SCRIVEN, F.; GORDON, M. H.; SCHOFIELD, J. D. Effect of endogenous flour lipids on the quality of short-dough biscuits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p.1371–1380, 2004.

PAPOUŠKOVÁ L., CAPOUCHOVÁ I., KOSTELANSKÁ M., ŠKEŘÍKOVÁ A., PROKINOVÁ E., HAJŠLOVÁ J., SALAVA J., FAMĚRA O. Changes in baking quality of winter wheat with different intensity of fusarium spp. contamination detected by means of new rheological system mixolab. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 29, p. 420-429, 2011.

PAREYT, B.; J. A. DELCOUR. The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: A review on sugar-snap cookies. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v 48 (9), p. 824–39, 2008.

PAREYT, B.; TALHAOU, F.; KERCKHOFS, G.; BRIJS, K.; GOESAERT, H.; WEVERS, M. The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 400–408, 2009.

PAREYT, B.; WILDERJANS, E.; GOESAERT, H. BRIJS, K. ; DELCOUR, J.A. The role of gluten in a sugar-snap cookie system: a model approach based on gluten–starch blends. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 3, p. 863-869, 2008.

PAREYT, B.; VAN STEERTEGEM, B.; BRIJS, K.; LAGRAIN, B.; DELCOUR, J.A. The impact of redox agents on sugar-snap cookie making. **Journal of Cereal Science**, v.52, p. 192-199, 2010.

POMERANZ, Y., SHOGREN, M.D., FINNEY, K.F., BECHTEL, D.B. Fiber in bread making e Effects on functional properties. **Cereal Chemistry**, v. 54, p. 25-41, 1977.

POMERANZ, Y. **Chemical composition of kernel structures**, chemistry and technology AACC. St Paul MN, vol.3, pp.97-158, 1988.

PROTONOTARIOU I.M., RITZOULIS C. Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours. **Food Chemistry**, v. 215, p. 326-332, 2017.

PROTONOTARIOU S.; DRAKOS A.; EVAGELIOU V.; RITZOULIS C.; MANDALA I. Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. **Journal of Food Engineering**, v. 134, p. 24-29, 2014.

PROTONOTARIOU, S., MANDALA, I., & ROSELL, C. M. Jet milling effect on functionality, quality and in vitro digestibility of whole wheat flour and bread. **Food Bioprocess Technology**, v. 8, p. 1319-1329, 2015.

PROTONOTARIOU, S.; BATZAKI, C.; YANNIOTIS, S.; MANDALA, I. Effect of jet milled whole wheat flour in biscuits properties. **LWT – Food Science and Technology**, v. 74, p. 106-113, 2016.

QU, H.; MADL, R.L.; TAKEMOTO, D.J.; BAYBUTT, R.C.; WANG, W. Lignans are involved in the antitumor activity of wheat bran in colon cancer SW480 cells. **Journal of Nutrition**, v.135, p. 598-602, 2005.

ROCA, E.; GUILLARD, V.; GUILBERT, S.; GONTARD, N. Moisture migration in a cereal composite food at high water activity: Effects of initial porosity and fat content. **Journal of Cereal Science**, v. 43, p. 144-151, 2006.

ROMAN, L., SAHAGUN, M., GOMEZ, M., & MARTINEZ, M. M. Nutritional and physical characterization of sugars-nap cookies: Effect of banana starch in native and molten states. **Food & Function**, v.10, p. 616–624, 2019.

ROMANI,S.; ROCCULI, P.; TAPPI, S.; DALLA ROSA, M. Moisture adsorption behaviour of biscuit during storage investigated by using a new Dynamic Dew point method. **Food Chemistry**, v. 195, p. 97-103, 2016.

ROOZENDAAL, H., ABU-HARDAN, M., & FRAZIER, R. A. Thermogravimetric analysis of water release from wheat flour and wheat bran suspensions. **Journal of Food Engineering**, v.111(4), p. 606–611, 2012.

ROSELL, C.M.; SANTOS, E.; COLLAR, C. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab. **European Food Research Technology**, p. 231, v. 535–544, 2010.

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., GUILLON, F., CHATEIGNER-BOUTIN, A.-L. Cell wall deposition and metabolism in wheat grain. **Journal of Cereal Science**. v.56, p. 91–108, 2012.

SAULNIER, L.; SADO, P. E.; BRANLARD, G.; GHARMET, G.; GUILLON, F.

SCHATZKIN, A.; PARK, Y.; LEITZMANN, M. F.; HOLLENBECK, A. R.; CROSS, A. J. Prospective study of dietary fiber, whole grain foods, and small intestinal cancer. **Gastroenterology**, v. 135, p. 1163, 2008.

SLADE, L., LEVINE, H., IEVOLELLA, J., WANG, M. The glassy state phenomenon in applications for the food-industry–Application of the food polymer science approach to structure-function-relationships of sucrose in cookie and cracker systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 63 (2), p. 133–176, 1993.

SLADE, L.; LEVINE, H.; CRAIG, S.; ARCISZEWSKI, H. (1994). Reducing checking in crackers with pentosanase. United States Patent US 5362502.

SLADE, L.; LEVINE, H.; FINLEY, J.W. Protein-water interactions: water as a plasticizer of gluten and other protein polymers. In: **Protein quality and the effects of**

**processing.** Phillips, D., and Finley, J. W. (Eds.). New York: Marcel Dekker, 1989. p. 9–124.

SLAVIN, J. L. et al. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, p. 459-463, 1999.

SLAVIN, J. Whole grains and human health. **Nutrition Research Reviews**, v. 17, p. 99-110, 2004.

van der SMAN, R. G. M.; RENZETTI, S. (2018). Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 8398, p. 1–15, 2018.

SOUZA, E. J., GUTTIERI, M. J., SNELLER, C. Selecting soft wheat genotypes for whole grain cookies. **Crop Science**, v. 51, p. 189–197, 2011.

SOZER, N.; CICERELLI, L.; HEINIĆO, R. L.; POUTANEN, K. Effect of wheat bran addition on in vitro starch digestibility, physicochemical and sensory properties of biscuits. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p.105-113, 2014.

STEGLICH T.; BERNIN, D. ; MOLDIN, A. ; TOPGAARD, D.; LANGTON, M. Bran particle size influence on pasta microstructure, water distribution, and sensory properties. **Cereal Chemistry**, v.92, n. 6, p. 617-623, 2015.

STEVENSON, L., PHILLIPS, F., O'SULLIVAN, K., & WALTON, J. Wheat bran: Its composition and benefits to health, a european perspective. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 63(8), p. 1001–1013, 2012.

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

ŠVEC I., HRUŠKOVÁ M. The Mixolab parameters of composite wheat hemp flour and their relation to quality features. **Food Science Technololy**, v.60, p. 23-629, 2015.

TANILLI, V. H. Characterization of wheat and flour for cookie and cracker production. **Cereal Foods World**, v. 21, p. 624–628, 1976.

TEBBEN, L.; SHEN, Y.; LI, Y. Improvers and Functional Ingredients in Whole Wheat Bread: A Review of Their Effects on Dough Properties and Bread Quality. **Trends in Food Science & Technology**, 2018.

TENG, Y.; LIU, C.; BAI, J. ; LIANG, J. Mixing, tensile and pasting properties of wheat flour mixed with raw and enzyme treated rice bran. **Journal of Food Science and Technology**. v. 52, p. 3014–3021, 2015.

TSILO, T. J., SIMSEK, S., OHM, J.-B., HARELAND, G. A., CHAO, S., & ANDERSON, J. A. Quantitative trait loci influencing endosperm texture, dough-mixing strength, and bread-making properties of the hard red spring wheat breeding lines. **Genome**, 54, 460–470, 2011.

THEBAUDIN, J. Y., LEFEBVRE, A. C., HARRINGTON, M., & BOURGEOIS, C. M. Dietary fibres: Nutritional and technological interest. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8(2), p.v41–48, 1997.

UMESHA, S.S.; MANOHAR, R.S.; INDIRAMMA, A.R.; AKSHITHA, S.; NAIDU. K.A. Enrichment of biscuits with microencapsulated omega-3 fatty acid (Alpha-linolenic acid) rich Garden cress ( *Lepidium sativum* ) seed oil: Physical, sensory and storage

- quality characteristics of biscuits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62 (1), p. 654-661, 2015.
- VAN DER BORGHT, A.; GOESAERT, H.; VERAVERBEKE, W. S.; DELCOUR, J. A. Fractionation of wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved **Journal of Cereal Science**, v. 41, p. 221–237, 2005.
- VAN DER KAMP, J. W.; POUTANEN, K.; SEAL, C. J.; RICHARDSON, D. P. The HEALTHGRAIN definition of 'whole grain.' **Food & Nutrition Research**, v.58, p. 22100, 2014.
- VIZITIU, D. ; DANCIU, I. Evaluation of farinograph and mixolab for prediction of mixing properties of industrial wheat flour. **Acta Universitatis Cibiniensis Series E: Food Technology**, v.15,p. 31-38, 2011.
- VRATANINA, D. L.; ZABIK, M. E. Dietary fiber sources for baked products: Bran in sugar snap cookies. **Journal of Food Science, London**, v. 43, p. 1590-1594, 1978.
- WANG, L., LI, S. L., & GAO, Q. Y. Effect of resistant starch as dietary fiber substitute on cookies quality evaluation. **Food Science and Technology Research**, v. 20, p. 263–272, 2014.
- WANG, L., ZHANG, L., QIU, S., LIU, C., ZHANG, P., YIN, L., CHEN, F. Rheological properties and structural characteristics of arabinoxylan hydrogels prepared from three wheat bran sources. **Journal of Cereal Science**, v. 88, p. 79-86, 2019.
- WANG, M.; HAMER, R. J.; VAN VLIET, T.; OUDGENOEG, G. Interaction of water extractable pentosans with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p. 25-37, 2002.
- WANG, M.-W., OUDGENOEG, G., VAN VLIET, T., HAMER, R.J. Interaction of water unextractable solids with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. **Journal of Cereal Science**, v. 38, p. 95-104, 2003.
- WANG, N.; HOU, G. G; DUBAT, A. Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and Chinese southern-type steamed bread. **Food Science and Technology**. v. 82, p. 147–153, 2017.
- WANG, N.; HOU, G.G. ; KWEON, M. ; LEE, B. Effects of particle size on the properties of whole-grain soft wheat flour and its cracker baking performance. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 187-193, 2016.
- WEAVER, G. L. A miller's perspective on the impact of health claims. **Nutrition Today**, v. 36, p. 115- 118, 2001.
- XIONG, L., ZHANG, B., NIU, M., & ZHAO, S. Protein polymerization and water mobility in whole-wheat dough influenced by bran particle size distribution. **LWT-Food Science and Technology**, v. 82, p. 396–403, 2017.
- XIONG, L.; ZHANG, B. ; NIU, M.; ZHAO, S. Protein polymerization and water mobility in whole-wheat dough influenced by bran particle size distribution. **LWT – Food Science and Technology**, v. 82, p. 396-403, 2017.
- YAMAZAKI W.; LORD D. Soft wheat products. In: **Wheat chemistry and technology**, 1971. 2nd ed. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. p. 749.
- YU, J., WANG, S., WANG, J., LI, C., XIN, Q., HUANG, W., WANG, S. Effect of laboratory milling on properties of starches isolated from different flour millstreams of hard and soft wheat. **Food Chemistry**, v. 172, p. 504–514, 2015.

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.

ZHOU, K.; SU, L.; YU L.L. Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***, v. 52, p. 6108-6114, 2004.

ZONG, G., GAO, A., HU, F. B., & SUN, Q. Whole grain intake and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer. ***Circulation***, v. 133(24), p. 2370–2380, 2016.