

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

**TATIANA CAUDURO**

**Qualidade tecnológica da farinha de trigo de grão inteiro  
parcialmente substituída por malte de trigo**

**Passo Fundo**

**2019**



**Tatiana Cauduro**  
**(Engenheira de Alimentos)**

**Qualidade tecnológica da farinha de trigo de grão inteiro  
parcialmente substituída por malte de trigo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, sob a orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski.

**Passo Fundo**  
**2019**

CIP – Catalogação na Publicação

---

C371q Cauduro, Tatiana

Qualidade tecnológica da farinha de trigo de grão inteiro parcialmente substituída por malte de trigo / Tatiana Cauduro. – 2019.

109 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos.) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

---

Bibliotecário Luís Diego Dias de S. da Silva –

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

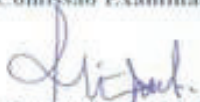
A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

Qualidade tecnológica da farinha de trigo de grão inteiro parcialmente substituída por  
malte de trigo

Elaborada por  
**Tatiana Cauduro**

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

Comissão Examinadora

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

  
Luciane Maria Colla, Dra., UPF

  
Martha Zavariz de Miranda, Dra., Embrapa Trigo

Passo Fundo, RS, Brasil  
2019



Ao Domingos e à Clara,  
Dedico.







## AGRADECIMENTOS

À Deus, por tantas oportunidades a mim concedidas.

À minha família pelo apoio, incentivo e por acreditarem que sou capaz. Ao Domingos e a Clara por terem compreendido meus momentos de ausência e por saberem que esse momento é muito importante para meu crescimento pessoal e profissional. Sinto o amor de vocês em todos os momentos da minha vida! Gratidão por estarem comigo.

Ao meu orientador Dr. Luiz Carlos Gutkoski, por todos os ensinamentos e por ter me incentivado em cada desafio. Por acreditar que eu conseguiria.

À Dra. Alessandra dos Santos que me ajudou com a estatística, sempre com muita disponibilidade e paciência. Minha eterna gratidão por ti.

À Dra. Bárbara Biduski. Sou muito grata por você ter chegado com amizade, paciência e muito respeito. Ter convivido contigo nesse momento tão importante fez toda a diferença! Obrigada por estar sempre disponível. Palavras não são suficientes para te agradecer.

Às minhas amigas Ângela, Bruna, Caroline, Cristine, Janayna, Jéssica, Lára, Larissa, Luana e Marina, por ondem alfabética porque não encontro outra forma de classificá-las. Juntas nós construímos a melhor turma do PPGCTA, com muito apoio e incentivo

Aos professores do PPGCTA-UPF, pelos ricos ensinamentos. Aos colaboradores do laboratório de cereais da Universidade de Passo Fundo, Tânia Soster Santetti pelo apoio nas análises e seus valiosos conselhos e amizade. Ao Jonas Bregalda pelo apoio na realização das análises.

A Viviane Vaz Oleiro Durante, minha gratidão por ti que além da linda amizade, resolveu embarcar comigo nessa jornada desafiadora de ser mestre. As colegas de laboratório Gabriela Santeti, com quem tive momentos grandiosos. Gratidão à Lucia e Ana pela ajuda nas análises.

À Professora Luciane M. Colla, por todo carinho e incentivo. Você me inspira. Gratidão por ter aceitado ser minha banca.

À Dra. Martha Z. de Miranda, pelos anos de convívio, por estar sempre disponível a me ajudar e por aceitar ser parte da banca, contribuindo com dicas tão valiosas. À OR Melhoria de Sementes pela gentileza em fornecer o trigo, os laboratórios para produção de malte e para realização de algumas análises.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes. (Isaac Newton)



*Não sei o que possa parecer aos olhos do mundo, mas aos meus parece apenas ter sido como um menino brincando à beira-mar, divertindo-me com o fato de encontrar de vez em quando um seixo mais liso ou uma concha mais bonita que o normal, enquanto o grande oceano da verdade permanece completamente por descobrir à minha frente.*

*(Isaac Newton)*



## RESUMO

A farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) contém todos os componentes do grão intacto e é reconhecida por oferecer benefícios à saúde. Estes componentes estão presentes nas camadas externas do grão, na fração chamada farelo. O farelo promove alterações nos atributos de qualidade tecnológica da farinha de trigo e o estudo de novas tecnologias para aplicação em produtos finais são necessárias, a fim de minimizar os efeitos indesejados causados pelo farelo. A utilização de farinha trigo germinado pode alterar as características tecnológicas da FTGI. O tempo de germinação e a proporção de farinha trigo germinado utilizada, podem interferir nas características tecnológicas de formação da massa e em produtos de panificação, bem como potencializar o aumento de compostos bioativos. Objetivou-se nesse trabalho investigar o efeito da utilização de farinha trigo germinado nas propriedades tecnológicas e funcionais da massa e de pão de forma elaborados com farinha de trigo de grão inteiro. Grãos de trigo da cultivar Ametista, safra 2016/2017, foram colhidos e secos até 13% de umidade. A germinação foi conduzida a 20 °C durante 24, 48 e 72 h. Foi realizada a caracterização das farinhas trigo germinado (FM) e da FTGI – controle. Após a caracterização, um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 3 foi utilizado. As farinhas trigo germinado germinadas por 24, 48 e 72 horas foram adicionadas nas proporções de 5, 15 e 25%, sendo a FTGI não germinada utilizada como controle. Os resultados foram analisados pelo emprego da análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança. A atividade amilolítica total, os teores de  $\alpha$ -amilase e a atividade antioxidante aumentaram nas farinhas trigo germinado conforme aumentou o tempo de germinação, além de uma coloração mais escura em relação a amostra controle. Ocorreu redução dos valores de absorção de água, estabilidade e tempo de desenvolvimento da massa, além de alterações nas propriedades de gelatinização do amido nas farinhas trigo germinado. Quando aplicado o fatorial observou-se que, apesar do aumento da atividade enzimática, os valores de número de queda permaneceram adequados para a fabricação de pães, para todos os tratamentos. Uma diminuição na viscosidade dos géis quando utilizadas as farinhas a partir de 48 h de germinação juntamente com uma menor tendência a retrogradação das mesmas amostras foi observado. A estabilidade das massas diminuiu conforme aumentou a intensidade da substituição. Os pães ficaram mais macios com a utilização de FM 24 e FM 48 até 15% de substituição. Apesar de ter auxiliado no aumento do volume dos pães, a adição de FM 72 aumentou significativamente os parâmetros de firmeza e mastigabilidade. Ocorreu aumento significativo na firmeza dos pães com o aumento dos dias de armazenamento para todos os tratamentos. A adução de FM teve efeito benéfico quando utilizadas farinhas com 48 h de germinação em substituições de até 15% e com 72 h de germinação em substituição de até 5%, pois favoreceram o aumento do volume dos pães e formação alveolar mais homogênea.

Palavras-chave: farinha de trigo integral, trigo germinado, pão de forma, *Triticum aestivum* L.



## ABSTRACT

Whole wheat flour (WWF) contains all components of intact grain and is recognized for its health benefits. These components are present in the grain external layers, in the fraction called bran. The bran promotes technological quality changes of wheat flour and the new technologies study for application in products are necessary in order to minimize the unwanted effects caused by the bran. The use of wheat malt flour may alter the whole wheat flour technological characteristics. The germination time and the proportion of wheat malt flour used may interfere with the technological characteristics of mass formation in bakery products, as well as to increase bioactive compounds. The aim of this study was to investigate the effect of the use of wheat malt flour on the technological and functional properties of pasta and pan bread made with whole wheat flour. The wheat of the cultivar Ametista, harvest 2016/2017, was dried up to 13% moisture. The germination was conducted at 20 ° C for 24, 48 and 72 h. The characterization of malt flour (MF) and whole wheat flour (WWF - control) was performed. After characterization, a completely randomized design in a 3 x 3 factorial arrangement was used. The malt flour germinated for 24, 48 and 72 hours were added in the proportions of 5, 15 and 25%, and wheat germ wheat flour not germinated as a control. The results were analyzed using the analysis of variance and the means compared by the Tukey test at 95% confidence interval. Total amyolytic activity,  $\alpha$ -amylase and antioxidant activity increased in the malt flour as the germination time increased, in addition to a darker coloration in relation to the control sample. There was a decrease in the water absorption values, stability and time of mass development, as well as changes in the starch gelatinization profile in malt flour. When the factorial was applied, it was observed that, despite the increase in enzymatic activity, the number of fall values remained adequate for breads. A decrease in the viscosity of the gels when using flours from 48 h of germination together with a lower tendency to retrograde the same samples was observed. The stability of the masses decreased as the intensity of the substitution increased. The breads became softer with the use of MF 24 and MF 48 up to 15% replacement. Although it aided in increasing the volume of breads, the addition of MF 72 significantly increased the parameters of hardness and chewiness. There was a significant increase in the firmness of the loaves with increasing days of storage for all the experiments. The malting had a beneficial effect when flours were used with 48 h of germination in replacements of up to 15% and with 72 h until 5%, as they favored the increase of loaf volume and more homogeneous alveolar formation.

Key words: whole wheat flour, sprouted wheat, pan bread, *Triticum aestivum* L.





## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Corte longitudinal e transversal do grão de trigo .....	28
Figura 2 - Segmento trissacarídeo de uma porção não ramificada da amilose .....	29
Figura 3 - Representação diagramática de parte de uma molécula de amilopectina .....	30
Figura 4 - Diferenças na contribuição de macronutrientes na farinha de trigo (grão inteiro x refinada) conforme ingestão diária recomendada (IDR).....	34
Figura 5 - Subdivisão de compostos bioativos presentes em alimentos de origem vegetal.....	35
Figura 6 - Fases da germinação de sementes em função do teor de água.....	40
Figura 7 - Fluxograma das atividades experimentais.....	46
Figura 8- Fluxograma de obtenção da FTGI.....	47
Figura 9 - Fluxograma de obtenção das farinhas trigo germinado .....	48
Figura 10 - Distribuição do tamanho de partícula da FTGI e das farinhas trigo germinado (FM) germinadas por 24 (FM 24), 48 (FM 48) e 72 (FM 72) horas. ....	59
Figura 11 - Propriedades de pasta da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) não germinada e das farinhas trigo germinado germinadas por 24, 48 e 72 horas.....	63
Figura 12 - Espectros de ATR-FTIR da farinha de trigo de grão inteiro não germinada e das farinhas trigo germinado .....	67
Figura 13 - Microestrutura das massas da farinha de trigo de grão inteiro e das farinhas trigo germinado.....	69
Figura 14 – Propriedades de pasta da farinha de trigo de grão inteiro e dos tratamentos.....	74
Figura 15 - Gráfico de dispersão e correlação das variáveis de textura dos géis.....	76
Figura 16 - Dendograma da análise de similaridade das variáveis textura do gel em relação aos tratamentos aplicados. ....	77
Figura 17 - Valores de absorção de água (a) e estabilidade (b) dos tratamentos.....	80
Figura 18 - Gráfico de dispersão e correlação das variáveis de formação da massa. ....	80
Figura 19 - Dendograma da análise de similaridade das variáveis de propriedade de formação da massa em relação aos tratamentos aplicados.....	81
Figura 20– Gráfico de dispersão do efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no volume específico dos pães.....	84
Figura 21 – Gráfico de dispersão dos efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição na cor da crosta dos pães.....	86
Figura 22 - Gráfico de dispersão dos efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição na cor do miolo dos pães.....	87

Figura 23 – Imagens dos pães produzidos com as farinhas dos tratamentos. ....	88
Figura 24 – Gráfico de dispersão dos efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição da variável firmeza durante 7 dias de armazenamento dos pães .....	92
Figura 25 - Gráfico de dispersão dos efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição da variável mastigabilidade durante 7 dias de armazenamento dos pães.....	93



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz experimental do delineamento fatorial completo 3 <sup>2</sup> .....	49
Tabela 2 - Propriedades físicas dos grãos de trigo não germinados (NG) e germinados .....	57
Tabela 3 - Atividade amilolítica e número de queda (NQ) da farinha de trigo de grão inteiro não germinada (NG) e das farinhas trigo germinado germinadas em diferentes tempos.....	59
Tabela 4 - Composição físico-química da farinha de trigo de grão inteiro não germinadas (NG) e das farinhas trigo germinado germinadas em diferentes tempos.....	60
Tabela 5 - Avaliação da cor da farinha de trigo de grão inteiro não germinado (NG) e das farinhas trigo germinado com diferentes tempos de germinação.....	61
Tabela 6 - Propriedades de pasta da farinha de trigo de grão inteiro não germinado (NG) e das farinhas trigo germinado germinadas em diferentes tempos.....	62
Tabela 7- Propriedades de mistura da farinha de trigo de grão inteiro (NG) e das farinhas trigo germinado germinadas em diferentes tempos .....	64
Tabela 8 - Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante da farinha de trigo de grão inteiro não germinada (NG) e das farinhas trigo germinado com diferentes tempos de germinação.....	66
Tabela 9 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nos valores de número de queda.....	71
Tabela 10 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nas propriedades de pasta .....	73
Tabela 11 - Valores médios e desvio padrão do perfil de textura dos géis dos tratamentos ....	76
Tabela 12 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nas propriedades de resistência à extensão e extensibilidade das massas.....	78
Tabela 13 - Valores médios e desvio padrão das propriedades de formação da massa dos tratamentos .....	79
Tabela 14 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no tempo de formação da massa e no índice de tolerância a mistura.....	82
Tabela 15 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no volume específico dos pães. ....	83
Tabela 16 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição na cor da crosta e do miolo dos pães.....	85
Tabela 17 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no perfil de textura dos pães.....	89

Tabela 18 - Valores médios do tratamento durante 7 dias de estocagem para a variável firmeza  
(g) ..... 91

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 TRIGO.....</b>	<b>27</b>
2.1.1 Estrutura do grão .....	27
2.1.2 Composição química.....	29
2.1.2.1 Carbohidratos.....	29
2.1.2.2 Proteínas.....	30
2.1.2.3 Lipídios.....	31
2.1.2.4 Vitaminas e minerais .....	31
2.1.2.5 Umidade .....	32
2.1.3 Propriedades de formação da massa.....	32
<b>2.2 FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO (FTGI) .....</b>	<b>33</b>
2.2.1 Definição .....	33
2.2.2 Importância do consumo .....	34
2.2.3 Influência do farelo nas propriedades de formação da massa .....	36
<b>2.3 TRIGO GERMINADO .....</b>	<b>38</b>
2.3.1 Alterações na composição do grão de trigo maltado.....	40
2.3.2 Efeitos da adição de malte nas propriedades da massa e de panificação .....	43
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL .....</b>	<b>46</b>
3.1.1 Produção da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) .....	47
3.1.2 Produção da farinha de trigo germinado .....	47
<b>3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS .....</b>	<b>49</b>
3.3.1 Índice de dureza do grão .....	49
3.3.2 Peso do hectolitro (PH) .....	50
3.3.3 Massa de mil grãos .....	50
3.3.4 Granulometria.....	50
3.3.5 Amilases totais e $\alpha$ -amilase .....	50
3.3.6 Número de queda (NQ).....	51
3.3.7 Composição química.....	51
3.3.8 Amido danificado .....	51

3.3.9	Cor .....	51
3.3.10	Propriedades de pasta .....	52
3.3.11	Análise do perfil de textura dos géis .....	52
3.3.12	Determinação de compostos fenólicos .....	52
3.3.13	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) .....	52
3.3.14	Microestrutura da massa.....	53
3.3.15	Propriedades da massa.....	53
	3.3.15.1 <i>Farinografia</i> .....	53
	3.3.15.2 <i>Resistência à extensão e extensibilidade</i> .....	54
3.3.16	Teste de panificação .....	54
3.3.17	Avaliação das características de qualidade dos pães .....	55
	3.3.17.1 <i>Volume específico</i> .....	55
	3.3.17.2 <i>Cor</i> .....	55
	3.3.17.3 <i>Firmeza, e Mastigabilidade dos pães</i> .....	55
3.3.18	Textura dos pães durante sete dias de armazenamento .....	56
<b>3.4</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS GRÃOS, DA FTGI E DAS FARINHAS TRIGO GERMINADO .....</b>	<b>57</b>
4.1.1	Propriedades físicas dos grãos de trigo.....	57
4.1.2	Caracterização granulométrica .....	58
4.1.3	Atividade enzimática e número de queda .....	59
4.1.4	Caracterização físico-química.....	60
4.1.5	Amido danificado .....	61
4.1.6	Cor .....	61
4.1.7	Propriedades de pasta .....	62
4.1.8	Propriedades de mistura da massa .....	64
4.1.9	Compostos Fenólicos e Capacidade Antioxidante .....	65
4.1.10	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) .....	66
4.1.11	Microestrutura da massa.....	68
<b>4.2</b>	<b>EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DE FTGI POR FARINHA TRIGO GERMINADO .....</b>	<b>71</b>
4.2.1	Número de queda .....	71



4.2.2 Propriedades de Pasta.....	72
4.2.3 Análise do Perfil de Textura (TPA) dos géis .....	75
4.2.4 Propriedades de formação da massa.....	77
4.2.4.1 Resistência à extensão e extensibilidade.....	77
4.2.4.2 Farinografia .....	79
4.2.5 Características de Panificação .....	82
4.2.6 Textura dos pães ao longo de sete dias .....	90
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>95</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>97</b>
<b>7 APÊNDICE A - ARTIGO .....</b>	<b>110</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A farinha de trigo é utilizada para uma gama de produtos que compõem a dieta de grande parte da população, fornecendo boa parte do aporte calórico para a alimentação humana. É utilizada na elaboração de produtos de panificação como pães, massas, biscoitos e bolos, com crescente utilização de grãos inteiros. Os produtos de FTGI contêm todos os componentes do grão (endosperma, farelo e gérmen) nas mesmas proporções do grão natural (AACC INTERNATIONAL, 2013) e são reconhecidos pelos benefícios à saúde. Tanto o farelo, que é rico em fibras, antioxidantes e vitamina B, quanto o gérmen, rico em micronutrientes, podem oferecer importantes benefícios para a saúde.

A preocupação por parte da população, de uma dieta associada à saúde está criando novos padrões para o desenvolvimento de alimentos. A alimentação adequada, além de fornecer energia e nutrientes essenciais para o corpo, pode prevenir ou retardar doenças, tais como cardiovasculares, câncer, infecções intestinais, obesidade e diabetes tipo II. Apesar de o consumo de alimentos produzidos com grão inteiro já constituir um mercado bem estabelecido, a fabricação destes produtos ainda é um desafio para a indústria, uma vez que a presença das camadas externas do grão causa alterações nas propriedades tecnológicas e sensoriais desses alimentos, limitando seu consumo. Mesmo com o crescente mercado de grãos integrais, parte dos consumidores ainda não se habituaram às características sensoriais dos produtos, o que demanda pesquisas tanto para o desenvolvimento de novos produtos, como para a resolução de problemas tecnológicos dos produtos elaborados com grãos inteiros e suas farinhas.

No processo de formação da massa, os maiores efeitos tecnológicos estão relacionados com as fibras presentes no farelo que influenciam a qualidade dos produtos de panificação, trazendo desvantagens tecnológicas e características sensoriais inferiores. Entretanto, esses mecanismos ainda não são totalmente conhecidos, o que encoraja a busca de novas alternativas para solucionar estas questões tecnológicas e, dessa forma, consolidar o consumo regular de produtos elaborados com farinhas de grão inteiro.

Atualmente há uma crescente demanda para o desenvolvimento de novos ingredientes e processos de produção alternativos para atingir as expectativas nutricionais e sensoriais dos consumidores. Nesse contexto, a adição de trigo germinado pode ser uma opção eficiente de atingir as características desejadas pelos consumidores. Grãos maltados são conhecidos por melhorar a disponibilidade dos nutrientes do grão e, quando adicionados à farinha de trigo de grão inteiro, apresentam potencial para aprimorar as características tecnológicas dos produtos. Durante a germinação do grão de trigo, ocorre o aumento no teor de enzimas amilolíticas, principalmente

a enzima  $\alpha$ -amilase. Essas enzimas, hidrolisam o amido em moléculas menores como dextrinas e monossacarídeos, que são utilizados pelas leveduras durante a fermentação e podem melhorar o volume específico e as características de textura dos produtos de panificação. Os melhoradores industriais de farinhas, largamente utilizados, possuem em sua composição a enzima  $\alpha$ -amilase, o que justifica a adição de trigo germinado para auxiliar na melhoria das características tecnológicas de produtos de grão inteiro. Além dos benefícios tecnológicos, durante a maltagem é potencializado o aumento de compostos bioativos, sendo essa uma alternativa para aumentar a ingestão de compostos benéficos à saúde.

Esse trabalho faz parte da linha de pesquisa “Qualidade e propriedades funcionais de alimentos” do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade de Passo Fundo e estuda o efeito da adição de trigo germinado nas propriedades tecnológicas da FTGI. Essa pesquisa é continuidade de estudos anteriormente realizados, sobre os efeitos da presença das camadas externas do grão nas propriedades de massa e produtos de panificação.

Assim, o objetivo geral desse trabalho é investigar se a adição de farinha trigo germinado altera as propriedades tecnológicas e funcionais da massa e de pão de forma elaborados com farinha de trigo de grão inteiro.

Os objetivos específicos são:

- I. Caracterizar a farinha de trigo de grão inteiro e as farinhas maltadas produzidas, quanto às características químicas, físicas, reológicas, enzimáticas e compostos funcionais.
- II. Verificar se os compostos formados durante a germinação influenciam nas propriedades de massa e nas características tecnológicas dos pães de forma.
- III. Avaliar a textura dos pães de forma durante sete dias de armazenamento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

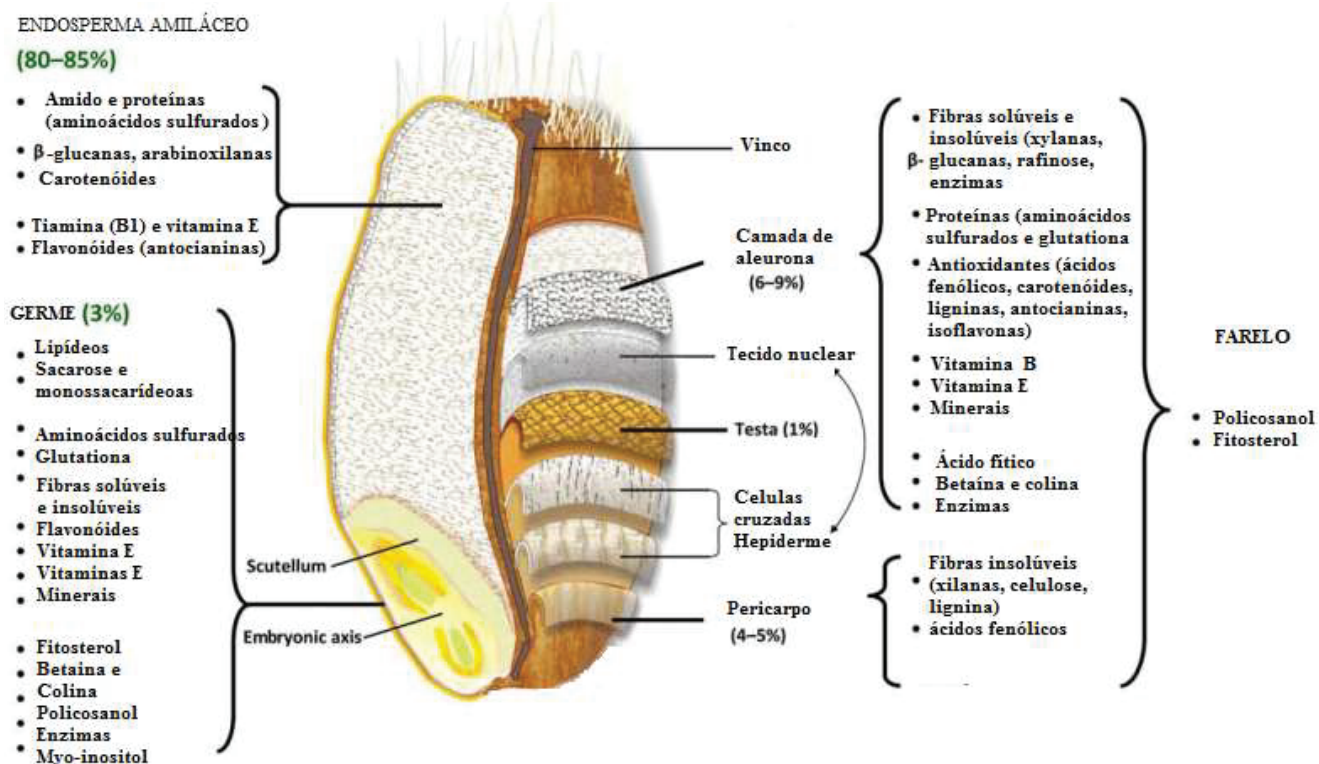
### 2.1 TRIGO

#### 2.1.1 Estrutura do grão

O cultivo de trigo (*Triticum spp.*) é parte da alimentação humana desde a pré-história, sendo uma das primeiras culturas alimentares da humanidade. Por 8.000 anos, foi o alimento básico das principais civilizações da Europa, Ásia Ocidental e África do Norte. Hoje o cultivo do trigo ocupa o primeiro lugar em área plantada e o segundo lugar em produção e, juntamente com o milho e o arroz, responde por cerca de 90% da produção mundial de cereais (FAO, 2018). No Brasil, a principal lavoura de inverno é o trigo com produção de 5,4 milhões de toneladas na safra 2018/19 (CONAB, 2019). Ainda que existam áreas de produção nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, em sistema de sequeiro ou irrigado, a maior produção ocorre na Região Sul, especialmente nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul.

A palavra trigo provem do vocábulo latino *triticum*, que significa quebrado, triturado, numa referência à atividade que se deve realizar para separar o grão de trigo da camada que o reveste (LÉON, 2007). O cereal é um complexo orgânico composto de diferentes tecidos, os quais tem paredes celulares com diferentes propriedades e composição (Figura 1) (SAULNIER, et al. 2007). Estruturalmente, o grão de trigo é uma cariopse, ou seja, possui semente única (SCHEUER, 2011). A composição nutricional do grão de trigo varia com as diferenças de clima e solo. Em média, o grão contém 12% de água, 70% de carboidratos, 12% de proteína, 2% de gordura, 1,8% de minerais e 2,2% de fibras brutas (DELCOUR e HOSENEY, 2010). Os tecidos das partes mais externas do grão têm primariamente função de proteção, possuem paredes celulares finas, hidrofóbicas, ricas em fibras e sais minerais. O endosperma consiste numa matriz proteica (camada de aleurona), no qual está inserido grande número de grânulos de amido ou seja, o endosperma constitui a farinha de trigo branca propriamente dita. No gérmen a parte embrionária da planta, se encontram grande parte dos lipídios e dos compostos fundamentais à germinação do grão (DELCOUR; HOSENEY, 2010).

Figura 1 - Corte longitudinal e transversal do grão de trigo



Fonte - Adaptado de KAMP, 2014.

O farelo (camadas externas do grão) é composto de várias camadas. O pericarpo contém celuloses e pentoses, polímeros à base de xilose e arabinose e estão fortemente ligados às proteínas. A camada de aleurona possui cinzas (fósforo e fitato), proteínas, lipídios, vitaminas (niacina, tiamina, riboflavina, piridoxina e ácido pantotênico, além de tocoferol) e enzimas. A camada de aleurona é rica em proteínas e enzimas, que desempenham um papel vital no processo de germinação. O endosperma é rico em amido e proteínas: albuminas, globulinas e as principais proteínas formadoras da glúten - gluteninas e gliadinas. Nessa camada, o conteúdo de minerais (cinza) e fibras alimentares é baixo. O germe está em uma extremidade do grão. É rico em proteínas, lipídios e uma fonte importante de vitamina E. O germe de trigo contém pouca quantidade dos aminoácidos glutamina e prolina, mas os níveis de alanina, arginina, asparagina, glicina, lisina e treonina são altos (ŠRAMKOVÁ, 2009).

A dureza de grãos é definida como a dificuldade de desintegração do grão quando sobre eles é exercida uma pressão. Usualmente, o trigo é classificado como duro ou mole. A característica de dureza de grãos tem forte controle genético, mas também é afetada por fatores ambientais, como o solo (níveis de nitrogênio e de fósforo), a capacidade de retenção de água e época de cultivo

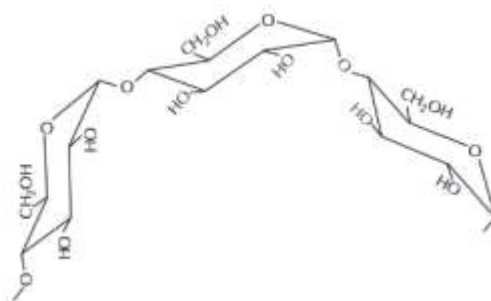
## 2.1.2 Composição química

### 2.1.2.1 Carboidratos

Os carboidratos são os componentes mais abundantes do grão, constituindo cerca de 70% do seu peso seco. São compostos por amido (60 a 68%), pentosanas (6,5%), celulose (2 a 2,5%) e açúcares redutores (1,5%). O amido está presente como um macro constituinte e pelas propriedades de interação com outros componentes, sendo muito utilizado pela indústria de alimentos. A sua capacidade de absorver água torna-o um dos componentes glicídicos mais relevante do trigo (QUAGLIA, 1991). Quimicamente é possível distinguir dois tipos de polímeros de glicose, a amilose e a amilopectina (HOSENEY, 1986).

A molécula de amilose (Figura 2) é uma cadeia linear de unidades de  $\alpha$ -D-glicopiranosil unidas por ligações (1 $\rightarrow$ 4), que pode conter pequeno número de ramos conectados por ligações  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6), nos pontos de ramificação. Os ramos nas moléculas de amilose ramificadas são muito longos ou muito curtos, sendo que a maioria dos pontos de ramificação é separada por longas distâncias, de modo que as propriedades da amilose são aquelas da molécula linear. A amilopectina (Figura 3) é uma molécula de unidades de  $\alpha$ -D-glicopiranosil unidas por ligações  $\alpha$ -1,4, porém altamente ramificada. Seus pontos de conexão das ramificações constituem entre 4 e 5% de ligações  $\alpha$ -1,6, sendo constituída de uma cadeia que contém apenas grupos redutores terminais, nos quais estão ligadas numerosas cadeias ramificadas, sendo que nessas últimas, estão ligadas a várias camadas de cadeias ramificadas. As ramificações das moléculas de amilopectina são agrupadas e apresentam-se como hélices duplas (FENNEMA, 2010).

Figura 2 - Segmento trissacarídeo de uma porção não ramificada da amilose



Fonte - Fennema, 2010.

Figura 3 - Representação diagramática de parte de uma molécula de amilopectina



Fonte - Fennema, 2010.

Na farinha de trigo, o amido encontra-se na forma de grânulos e são insolúveis em água fria. O aumento de viscosidade do amido é obtida quando a suspensão de grânulos é aquecida (80°C) e sob agitação obtêm-se uma dispersão de alta viscosidade que pode ser chamada de goma. Acima de uma temperatura crítica, as ligações de hidrogênio são rompidas alterando a estrutura dos grânulos, que sofrem processo irreversível, conhecido como gelatinização do amido, perdendo a cristalinidade e a organização estrutural granular (LEON, PISTONA E PETER, 2010). Com o resfriamento, a desagregação das moléculas forma um gel que retrograda gradualmente a um agregado semicristalino, diferente do grânulo inicial (COPELAND et al., 2009). A funcionalidade do amido influencia ou controla propriedades como textura, volume, consistência, umidade e vida de prateleira de alimentos (YONEMOTO et al., 2007). Na panificação, além da importância na formação do miolo, o amido é fonte de açúcares que são formados através da sua hidrólise pelas enzimas amilases, tornando-se substrato para a levedura durante a fermentação (HEMDANE et al., 2015).

#### 2.1.2.2 Proteínas

As proteínas dos cereais são classificadas de acordo com a solubilidade: as albuminas - solúveis em água; as globulinas - solúveis em soluções salinas diluídas; as prolaminas - solúveis em soluções alcoólicas e as glutelinas, - solúveis em soluções ácidas ou alcalinas. As proteínas de reserva do trigo, que formam o glúten são as gliadinas (prolaminas) e as gluteninas (glutelinas) (SGARBIERI, 1996). As proteínas formadoras de glúten são ricas nos aminoácidos asparagina, glutamina, arginina ou prolina, e apresentam em menor quantidade lisina, triptofano, glutamato e metionina (ZILIC et al., 2011; XIA et al., 2017). Apesar da cisteína ser encontrada em menor proporção nas proteínas do glúten, aproximadamente 2%, é importante



para a estrutura e funcionalidade do glúten. A maioria das cisteínas estão presentes num estado oxidado possibilitando ligações dissulfeto intramoleculares e intermoleculares entre as proteínas (WIESER, 2007).

As gluteninas contribuem principalmente para as propriedades elásticas e de resistência do glúten, enquanto as gliadinas contribuem para as propriedades de viscosidade e extensibilidade (XU, et al., 2007; BARAK, et al., 2015). O equilíbrio entre essas duas frações permite propriedades viscoelásticas e capacidade de retenção de gás, essenciais para as características dos produtos de panificação.

### 2.1.2.3 *Lipídios*

Os lipídios são um grupo de compostos quimicamente diversos, solúveis em solventes orgânicos. São classificados como apolares e polares, o que indica diferenças em sua solubilidade e em suas propriedades funcionais. Os lipídios desempenham papel importante na qualidade dos alimentos, pois contribuem com atributos como textura, sabor, nutrição e densidade calórica. No trigo, são componentes minoritários e encontrados em pequena quantidade, constituindo de 2,5 a 3,3% da cariopse (FENNEMA e at., 2010).

### 2.1.2.4 *Vitaminas e minerais*

As vitaminas compreendem um grupo diverso de compostos orgânicos, os quais são micronutrientes essenciais na nutrição. O trigo contém quantidades apreciáveis de tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantotênico, ácido fólico e tocoferóis. Sua distribuição não é homogênea e se localiza quase que totalmente na parte externa do grão, sendo extraídas pelo processo de moagem (QUAGLIA, 1991). Dessa forma, as vitaminas são encontradas mais abundantemente na farinha integral.

O trigo possui entre 1,5 e 2,0% de minerais, aproximadamente 61% destes estão localizados na camada de aleurona. Como consequência disso, uma farinha terá conteúdo mineral mais elevado, quanto maior for o teor de farelo presente na mesma. Entre os principais minerais encontrados na farinha de trigo, estão fósforo, potássio, magnésio, cálcio, ferro e enxofre (ORO, 2013).

#### 2.1.2.5 *Umidade*

O conteúdo de água do grão de trigo é muito variável e depende principalmente das condições de colheita. No caso de grãos úmidos é necessário um processo de secagem para reduzir a umidade até o teor ideal de 13% (QUAGLIA, 1991). Se o grão de trigo for armazenado a uma umidade superior a 14%, pode ocorrer o desenvolvimento de pragas e fungos, que danificam os grãos e alteram a qualidade tecnológica da farinha (KOCH et al., 2006). O conteúdo de umidade de uma farinha é importante não apenas para determinar a sua vida de prateleira, mas também para conhecer o conteúdo de sólidos. O conteúdo de água representa um índice comercial importante, visto que influencia o peso específico do grão e igualmente na conservação da farinha e de suas características tecnológicas (ORO, 2013).

#### 2.1.3 **Propriedades de formação da massa**

O trigo é um componente importante da dieta pela sua adaptabilidade agrônômica, facilidade de armazenamento dos grãos e facilidade de conversão de grãos em farinha para produzir alimentos comestíveis, palatáveis, interessantes e satisfatórios. (FAO, 2018). Por conter glúten, o trigo difere-se dos outros cereais pelas propriedades viscoelásticas únicas. As proteínas formadoras de glúten (gluteninas e gliadinas) encontradas na farinha de trigo, quando misturadas com água e pela ação de uma força mecânica, formam uma massa elástica capaz de reter as bolhas de dióxido de carbono vindas da fermentação e gerar o crescimento nos produtos de panificação.

Na fase inicial de formação da massa, as moléculas de proteína são hidratadas e as suas fibrilas aderem-se umas às outras formando uma rede desorganizada de fios espessos. Sob ação continuada da mistura, mais proteínas são hidratadas e as gluteninas tendem a alinhar-se devido ao cisalhamento e alongamento das forças impostas. Nesta fase, a rede de glúten está mais desenvolvida pelas ligações cruzadas entre as proteínas com pontes de dissulfeto. No desenvolvimento ótimo da massa, as interações entre os polímeros de ligações cruzadas são cada vez mais fortes, levando a um aumento na resistência da massa. (BRESSIANI, 2016).

Com a ação continuada da mistura, ocorre a oxidação de grupos sulfidríla dos resíduos de cisteína dentro da proteína (intramolecular) e entre as proteínas (intermolecular). As ligações S-S estabelecidas são responsáveis pela formação da rede de glúten e, portanto, eles são os principais determinantes das propriedades reológicas da massa (DELCOUR et al., 2010). No processo de panificação, o desenvolvimento do glúten até o ponto ótimo de formação da massa

é chamado de “ponto de véu”. Nesse momento, as propriedades reológicas permitem que a massa expanda quando a pressão de gás da fermentação aumentar (CAUVAIN & YOUNG, 2009), atingindo dessa forma as características conhecidas nos produtos de panificação.

## **2.2 FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO (FTGI)**

### **2.2.1 Definição**

O *Whole Grains Council* determina que os grãos inteiros ou os alimentos produzidos a partir destes, contêm todas as partes essenciais e os nutrientes de ocorrência natural de toda a semente de grãos em suas proporções originais. Se o grão foi processado (por exemplo, rachado, esmagado, enrolado, extrusado e / ou cozido), o produto alimentar deve fornecer o mesmo equilíbrio rico de nutrientes que são encontrados na semente de grão original (WHOLE GRAINS COUNCIL, 2004). A AACC define grão integral como aquele em que os componentes anatômicos estão presentes nas mesmas proporções que na cariopse intacta, na medida do possível pela melhor tecnologia de moagem moderna (AACC International, 2013).

O projeto HEALTHGRAIN em 2010, identificou a necessidade de desenvolver uma definição de grãos integrais que fosse mais abrangente do que as definições na maioria dos países da União Europeia e que refletisse as correntes práticas industriais para produção de farinhas e produtos de consumo e, fosse útil no contexto de diretrizes nutricionais e para fins de rotulagem. Dessa forma, segundo o projeto, no grão inteiro deve conter os componentes anatômicos, o endosperma, o germe e o farelo amiláceos, presentes nas mesmas proporções relativas que existem no grão intacto (KAMP, 2014).

No Brasil, a Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996 da Anvisa (BRASIL, 1996), descreve a farinha de trigo integral como aquela obtida a partir do cereal limpo e com teor máximo de cinzas de 2,5% na base seca. A Instrução Normativa nº 8 de 03/06/2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento descreve a farinha de trigo integral como o produto elaborado com grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) ou outras espécies de trigo do gênero *Triticum*, ou combinações, por meio de trituração ou moagem e outras tecnologias ou processos a partir do processamento completo do grão limpo, contendo ou não o gérmen (BRASIL, 2005).

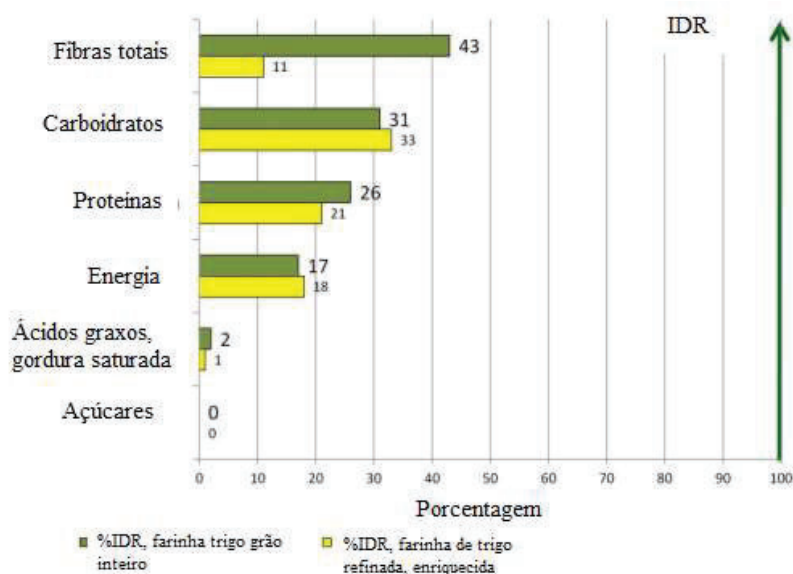
É comum encontrar no Brasil, a farinha integral obtida a partir da farinha de trigo refinada, reincorporada de farelo de trigo com ou sem gérmen. Dessa forma, a legislação não garante que ao ingerir um produto de farinha de trigo integral, o consumidor esteja consumindo

todas as partes do grão. A reincorporação não segue um padrão, assim, qualquer quantidade de farelo pode ser adicionada e a farinha ser rotulada como farinha de trigo de integral, não possuindo os mesmos benefícios atribuídos ao produto (SEHN, 2015). É importante ressaltar que esse produto é diferente da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), resultante da moagem do grão inteiro, que contém todas as partes do grão (farelo, gérmen e endosperma), nas mesmas proporções encontradas no grão original, uma vez que o grão é moído integralmente.

### 2.2.2 Importância do consumo

O consumo de grãos integrais tem sido crescente nos últimos anos devido ao aumento da procura pela ingestão de alimentos mais saudáveis. Os pioneiros em estudos de epidemiologia nutricional sugerem que os alimentos ricos em fibras (Figura 4) e não refinados são mais saudáveis que os alimentos altamente refinados. Fardet (2010) considerou que a prevenção dessas doenças está relacionada a funcionalidade das fibras e compostos fitoquímicos com ação bioativa encontrados nos grãos integrais. Desde então, estudos descobriram uma menor mortalidade quando há maior ingestão de fibra alimentar, particularmente de grãos, assim como a ingestão de produtos de grãos inteiros (JOHNSEN et al., 2015).

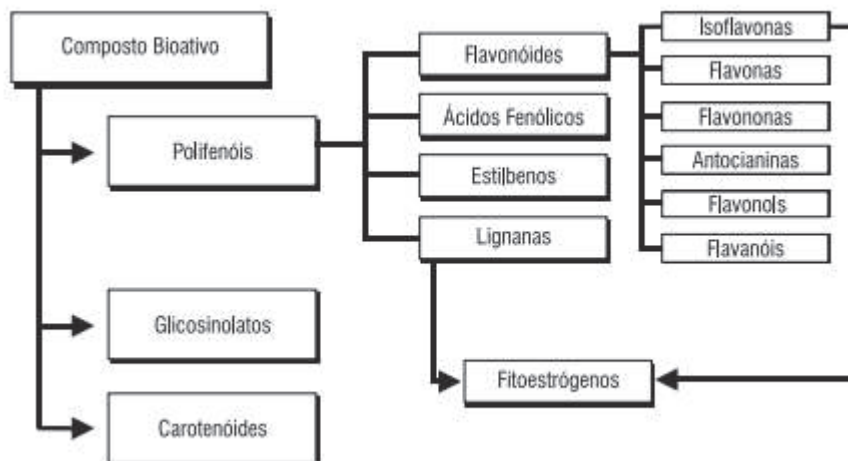
Figura 4 - Diferenças na contribuição de macronutrientes na farinha de trigo (grão inteiro x refinada) conforme ingestão diária recomendada (IDR).



Fonte - Adaptado de Healthgrain Forum, 2012.

Nas camadas externas do grão do trigo está concentrada a maioria dos compostos reconhecidos como benéficos à saúde, como as fibras, vitaminas, minerais e compostos fitoquímicos. Os ácidos fenólicos representam a forma mais comum de compostos fenólicos em trigo e um dos maiores e mais complexos grupos de fitoquímicos nos cereais. A Figura 5 apresenta a subdivisão de compostos bioativos presentes em alimento de origem vegetal. Os ácidos fenólicos estão presentes principalmente na forma ligada aos componentes estruturais da parede celular, tais como celulose, lignina e proteínas (SAULNIER et al., 2007). Os compostos fenólicos ligados são considerados como tendo maior capacidade antioxidante, porque podem escapar da digestão gastrointestinal superior, juntamente com materiais de parede celular, e são absorvidos no plasma sanguíneo durante a digestão pela microflora intestinal (WANG et al., 2013). O principal ácido fenólico é o ácido ferúlico, o qual se encontra presente, principalmente na parede celular nos tecidos do pericarpo e aleurona (LIU e at., 2016). A camada de aleurona tem sido apontada entre as camadas externas do grão de trigo, como a de maior interesse nutricional, pois concentra a maioria das fibras e compostos bioativos (SIBAKOV; POUTANEN; MICARD, 2014).

Figura 5 - Subdivisão de compostos bioativos presentes em alimentos de origem vegetal



Fonte - Horst e Lajolo (2012).

Os benefícios da ingestão de grãos integrais para o organismo humano foram inicialmente atribuídos ao seu alto teor de fibras. Pesquisas recentes mostraram que não apenas o efeito mecânico das fibras alimentares, mas também os compostos fenólicos associados exercem efeitos benéficos a nível intestinal. Prückler et al. (2013) sugere que compostos fenólicos podem ser liberados da fibra alimentar solúvel por esterases e absorvidos em várias

extensões através do intestino. Ao passarem para a corrente sanguínea, esses compostos podem exercer seus efeitos benéficos a saúde de todo o corpo, pois a microbiota intestinal inferior provoca uma absorção contínua de compostos fenólicos da fibra alimentar. A evidência epidemiológica de que uma alta ingestão de grãos integrais está associada a uma baixa incidência de doenças cardiovasculares e diabetes, pode estar relacionada a esse efeito. Além desses fatores, as fibras que integram os grãos inteiros têm potencial para melhorar a capacidade de saciedade das refeições, que está associado ao menor índice de massa corporal (IMC) da população (ISAKSSON et al., 2012).

Vários estudos relatam as diferenças tecnológicas dos produtos elaborados a partir do grão inteiro em relação aos produzidos com farinha refinada. Apesar dos benefícios à saúde, o consumo ainda é limitado pelas características sensoriais dos alimentos de FTGI e pela resistência do consumidor em substituir os ingredientes tradicionais pelos integrais. Dessa forma, um grande desafio para a pesquisa é a otimização de formulações e processos para obter produtos funcionais de boa qualidade.

### **2.2.3 Influência do farelo nas propriedades de formação da massa**

A FTGI é considerada como excelente fonte de nutrientes e compostos bioativos para saúde humana, porém, apesar dos benefícios, a presença das partes externas do grão e do gérmen proporciona alterações nas propriedades da massa de produtos à base de farinha de grão inteiro. Muitos estudos são realizados para descrever a influência das camadas externas do grão nas propriedades de formação da massa, a fim de encontrar soluções para elaboração de produtos com qualidade tecnológica superior.

A absorção de água durante a formação da massa aumenta com a presença das fibras (SCHMIELE et al., 2012; ALMEIDA et al. 2013; BRESSIANI 2016) pois a presença de grande número de grupos hidroxila na estrutura das fibras permite que maiores interações com a água ocorram através de ligações de hidrogênio (ROSSEL et al., 2001). O tempo de desenvolvimento da massa também aumenta com a presença das fibras (SCHMIELE et al. 2012; BOITA et al., 2016). Esse comportamento é consequência da interação que ocorre entre as fibras e o glúten que impede a hidratação das proteínas e afeta a agregação e desagregação das proteínas de alto peso molecular. Além disso, a estrutura física das partículas das fibras dificulta o desenvolvimento da rede de glúten, aumentando o tempo necessário para desenvolver uma massa ideal (ROSELL et al. 2001).

A estabilidade ao amassamento diminui (ALMEIDA et al., 2013; BRESSIANI, 2016) pois a presença de farelo leva a formação de uma rede de glúten mais fraca durante o processo de formação da massa, pelo grande número de interações químicas e físicas que ocorrem entre as proteínas formadoras do glúten e os compostos encontrados nas camadas mais externas do grão (BOITA et al. 2016). Além das interações, a presença de fibras diminui a força da massa em função da diluição das proteínas formadoras da rede de glúten. Em farinhas refinadas, os principais componentes responsáveis pela absorção de água são o amido e as proteínas de glúten, enquanto que nas farinhas de grão inteiro de trigo, a presença das fibras na composição proporciona a maior capacidade de absorção.

A resistência à extensão, propriedade de resistir a uma força aplicada e sua tendência em retornar à forma original (elasticidade) reduz nas amostras com presença de farelo (SCHMIELE et al., 2012; BRESSIANI, 2016). Este enfraquecimento da massa pode ser explicado pelo mecanismo físico de interferência entre as fibras e o glúten, dificultando a formação de uma rede de menor resistência, por ser menos coesa. Ainda, a extensibilidade das farinhas que contém fibras também é menor em relação às farinhas refinadas.

Os compostos fenólicos podem alterar o comportamento das farinhas em relação às propriedades de massa e panificação, uma vez que eles são considerados como agentes redutores de ocorrência natural. Vários compostos fenólicos como os ácidos caféico, ferúlico, fumárico e maleico, têm sido relatados por afetar negativamente as propriedades funcionais de massa, resultando em redução do tempo de desenvolvimento e tolerância a mistura (BRESSIANI, 2016).

No âmbito da panificação integral, alguns estudos mostraram que a presença das fibras na farinha diminui o volume específico dos pães (AL-HOOTI et al., 2002; ALMEIDA et al., 2013; BRESSIANI, 2016) e aumenta a firmeza dos produtos de farinha de trigo de grão inteiro (AL-HOOTI et al., 2002).

A adição de melhoradores na fabricação de produtos de panificação é uma prática usual, pois alteram positivamente as propriedades da massa e tornam os produtos mais palatáveis. Os melhoradores usados na indústria incluem substâncias oxido-redutoras, produtos enzimáticos, emulsionantes, entre outros. Substâncias oxidativas desempenham um papel na formação da rede espacial de glúten, através da oxidação de grupos sulfidrilo (SH) em pontes dissulfureto - (S-S) - afetando significativamente as propriedades físico-químicas do glúten. A atividade das amilases afeta a consistência da massa através do seu efeito sobre os grânulos de amido. Os grânulos de amido danificado têm alta absorção de água e capacidade de retenção de água e quando o amido é hidrolisado pela ação da  $\alpha$ -amilase, a água liberada ajuda a suavizar a massa.

Esta ação também ajuda a melhorar a extensibilidade da massa e retenção de gás (DAVIDOVIĆ, et al., 2010).

Na revisão sobre os constituintes da farinha de trigo e seu impacto na qualidade de panificação, Goesart et al. (2005) descreve que os níveis de  $\beta$ -amilase são mais altos que os da  $\alpha$ -amilase em grãos de trigo e essa pode ser uma das causas do baixo volume de pães e qualidade tecnológica. Por esse motivo as farinhas são suplementadas, para que haja um aumento da atividade amilolítica. A adição da  $\alpha$ -amilase facilita a produção de maltose, que é utilizada pelas bactérias fermentativas da massa do pão. Com o aumento da atividade amilolítica há, como consequência, um aumento dos açúcares redutores que auxiliam no aumento do volume do pão, na cor e no *flavour* dos pães, através da reação de Maillard.

Nos últimos anos, houve um aumento significativo no número de consumidores que rejeitam todos os aditivos sintéticos em alimentos e, ao mesmo tempo, uma tendência global para o uso das substâncias naturais presentes no alimento como fonte de ingredientes antioxidantes e funcionais. Assim, existem oportunidades suficientes para que a pesquisa investigue mais profundamente outras opções de ingredientes capazes de melhorar as propriedades de formação da massa, afim produzir um alimento de qualidade superior, mais saudável e sensorialmente atrativo para o consumidor.

### **2.3 TRIGO GERMINADO**

A germinação das sementes é um processo natural e desejável para a perpetuação da espécie. Deve-se distinguir entre germinação no campo, maltagem e germinação em laboratório. As condições físicas e as mudanças fisiológicas resultantes diferem nos tipos de germinação. Quando o grão começa a germinar na planta de trigo na época de colheita, denomina-se germinação no campo. A maltagem é a germinação controlada, seguida pela secagem controlada de uma semente (MIRANDA, 1998).

A germinação das sementes pode ser descrita em três fases (Figura 6), segundo Bewley e Black, (1994). Na fase I, denominada embebição, ocorre uma rápida entrada de água, em função da grande diferença de potencial entre as sementes e o substrato, independentemente do estado fisiológico das sementes. Essa fase caracteriza-se por um acentuado aumento na intensidade respiratória pelo início da degradação das substâncias de reserva. Na fase II, a velocidade de absorção de água se torna mais lenta, tendendo para o equilíbrio entre os potenciais, ocorrem diversas reações metabólicas preparatórias à emergência da raiz primária. A duração dessa fase é 8 a 10 vezes mais longa que a primeira e a intensidade respiratória

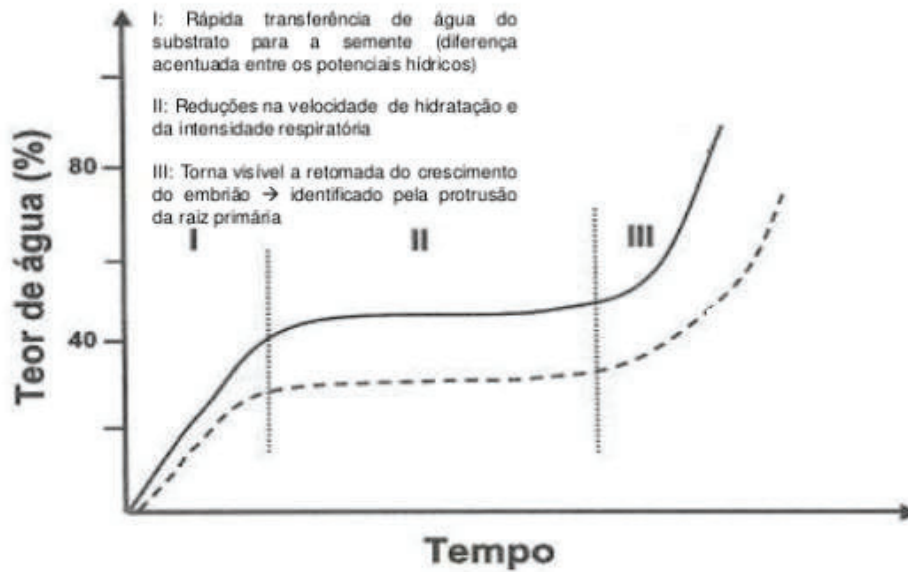


crecem de maneira mais lenta. Na fase III, com o metabolismo ativado e em função da produção de substâncias osmoticamente ativas, ocorre redução no potencial hídrico das sementes, resultando em rápida absorção de água do meio e, desse ponto em diante tem início visível o crescimento do eixo embrionário.

As giberelinas, hormônios que induzem o desenvolvimento de enzimas hidrolíticas, são produzidas pelo embrião nos primeiros dias da germinação. Nesse período ocorre a maior movimento das giberelinas do embrião para a camada de aleurona, onde ocorrem a síntese das enzimas que participam da degradação dos constituintes que se encontram no endosperma (MIRANDA, 1998). A medida que a germinação avança, a camada de aleurona próxima ao gérmen torna-se gradualmente o principal local de síntese e secreção de enzimas. As enzimas são sequencialmente sintetizadas durante a germinação. Em primeiro lugar, ocorre síntese de enzimas associadas à respiração, seguida de enzimas hidrolíticas envolvidas na mobilização de reservas. As enzimas hidrolíticas segregadas são transferidas para o endosperma amiláceo onde são responsáveis pela degradação do material da parede celular, amido e proteínas. Nessa fase, ocorre o aumento da atividade enzimática, principalmente de  $\alpha$  e  $\beta$ -amilases, endo- $\beta$ -glucanase, dextrinase, proteases e lipases. A atividade hidrolítica é essencial, pois converte substâncias de reserva, principalmente o amido, em açúcares menores que são substratos para o processo respiratório do grão (DELCOUR; HOSENEY, 2010). O aumento da taxa respiratória do grão acelera o metabolismo e a hidrólise do amido, de proteínas e da fração lipídica, reduzindo a matéria-seca (POPINIGIS, 1985).

A  $\alpha$ -amilase atua nas ligações  $\alpha$ -(1-4) tanto de moléculas de amilose como de amilopectina, gerando maltose, glicose e dextrinas. A  $\beta$ -amilase age na extremidade não-redutora de oligo e poli-glucanos, produzindo, principalmente maltose, mas sua ação é interrompida nas ligações  $\alpha$ -(1-6). A maltose pode ser convertida em glicose pela maltase e nas dextrinas que apresentam ligações  $\alpha$ -(1-6), agem as dextrinases originando oligossacarídeos (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

Figura 6 - Fases da germinação de sementes em função do teor de água.



Fonte: Adaptado de Bewley & Black, 1994.

### 2.3.1 Alterações na composição do grão de trigo maltado

A germinação, possivelmente, é um dos processos mais antigos, simples e econômicos empregados para melhorar o valor nutricional de grãos de cereais e de leguminosas (MIRANDA; EL-DASH, 2002). É uma alternativa adequada para diminuição de fatores antinutricionais, como os fitatos presentes originalmente nestes grãos. Além de converter proteínas vegetais de baixa qualidade nutricional em proteínas de melhor qualidade, aumentando os teores de certos aminoácidos essenciais, aumenta a capacidade antioxidante, teores de vitamina C, E,  $\beta$ -caroteno e minerais (LIU et al, 2016).

Os antioxidantes (compostos que impedem a oxidação de outras substâncias químicas) promovem a remoção ou inativação dos radicais livres formados durante a iniciação ou propagação da reação de oxidação, através da doação de átomos de hidrogênio a estas moléculas, interrompendo a reação em cadeia.

Hung et al. (2011) estudaram a composição de ácidos fenólicos em malte de trigo e sugeriu que os ácidos fenólicos livres aumentaram no malte de trigo em relação a trigo não maltado, entretanto os ácidos fenólicos ligados diminuíram em duas cultivares analisadas. Os autores concluíram que durante o processo de germinação, o ácido felúrico foi acumulado devido a biossíntese fenólica e a hidrólise de compostos polifenólicos ligados às paredes celulares. Quanto a capacidade antioxidante, os autores descrevem que durante a germinação, as duas cultivares estudadas exibiram aumento da capacidade antioxidante. Na extração

alcoólica, os compostos fenólicos livres das amostras de farinha trigo germinado apresentaram aumentos significativos de sequestro de radicais DPPH em relação a amostra controle. Os autores descrevem que esses resultados são devido ao aumento dos ácidos siríngico, caféico e vanílico durante a germinação, enquanto que os ácidos fenólicos ligados às paredes celulares não alteram seus teores. Ainda, reportam que os compostos antioxidantes como vitamina C e tocoferóis também aumentam com o processo de germinação. Dessa forma, trigo germinado pode conter mais compostos nutricionais desejáveis que os trigos não germinados, podendo ser adicionados às farinhas comerciais afim de aumentar tanto o valor nutricional como a textura dos pães.

Hung, Hatcher e Barker. (2011) verificaram que o conteúdo de fenólicos totais não aumentou nas primeiras 24 horas de germinação, mas aumentou significativamente depois de 36 e 48 horas de germinação em amostras de trigo ceroso. Segundo os autores, o aumento no conteúdo de fenólicos livres é devido ao aumento do teor de ácido siríngico. Entretanto, as cadeias de compostos fenólicos são inicialmente perdidas pela hidrólise dos compostos polifenólicos das paredes celulares. Então, o acúmulo de ácido felúrico devido a biossíntese dos fenólicos, contribui com o aumento dos compostos fenólicos depois das primeiras 24 horas de germinação. Os autores também analisaram a capacidade antioxidante do trigo ceroso pelo método de sequestro de radicais livres DPPH e verificaram um aumento significativo de atividade antioxidante nos trigos germinados por 36 e 48 horas, em relação ao germinado por 6 e 12 horas.

Em estudo com grãos trigo germinado, Cunha (2014) obteve aumento significativo no teor de compostos fenólicos totais a partir do quarto dia de germinação. Gawlik-Dziki et al. (2016) também obtiveram aumento do conteúdo de compostos fenólicos a partir do quarto dia de germinação para três cultivares estudadas. Para atividade antioxidante, os autores concluíram que a germinação aumentou a atividade antioxidante dos extratos químicos de trigo germinado por 4 dias.

Durante as primeiras fases da germinação, há aumento da atividade enzimática, principalmente de  $\alpha$  e  $\beta$ -amilases (BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2011; MARTI et al., 2017; BARANZELLI, 2017). A  $\alpha$ -amilase migra da camada de aleurona para o endosperma, hidrolisando o amido em dextrinas (6-12gli), enquanto que a  $\beta$ -amilase hidrolisa estas em maltose e a  $\alpha$ -glicosidase ou maltase hidrolisa a maltose em 2 moléculas de glicose (MIRANDA, 1998). A atividade hidrolítica é essencial pois converte substâncias de reserva, principalmente o amido, em açúcares menores que são substratos para o processo respiratório. É através do processo respiratório que se garante o aporte energético para a germinação. O

aumento da taxa respiratória do grão acelera o metabolismo e a hidrólise do amido, de proteínas e da fração lipídica, reduzindo a matéria-seca (CARVALHO, 2015). Com o aumento da atividade enzimática, acontece a diminuição do número de queda (NQ) (MARES; MRVA, 2008; CUNHA et al., 2004) por consequência do aumento da atividade enzimas amilolíticas (incluindo a  $\alpha$ -amilase).

Quanto ao teor de proteínas, estudos mostram que o aumento no tempo de germinação, aumenta também o teor de proteína nos cereais e leguminosas (TIAN et al., 2010; BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2011; SHAH et al., 2011; VÁZQUEZ et al., 2012; CARVALHO, 2015). Isso pode ocorrer devido a síntese de enzimas (exemplo, proteases) pela germinação da semente e pela mudança na composição do grão que ocorre devido à perda de matéria seca função do consumo de reservas, principalmente de carboidratos.

A germinação pode aumentar também o conteúdo de aminoácidos essenciais. Para Miranda (1998), o conteúdo de aminoácidos aumentou com a germinação, com algumas exceções para os teores de serina, ácido glutâmico, cistina, metionina e histidina, que diminuíram. Na pesquisa sobre os efeitos da germinação na composição de trigo ceroso, realizada por Hung et al. (2011), os níveis de aminoácidos livres no amido ceroso aumentaram significativamente com o aumento do tempo de germinação. Os aminoácidos essenciais isoleucina, leucina, fenilalanina e valina atingiram seus maiores teores depois de 36 horas de germinação. A treonina e metionina tiveram seus teores mais altos depois de 24 e 48 horas de germinação respectivamente, enquanto a lisina teve o pico depois de 6 horas de germinação e depois diminuiu drasticamente. Quase todos os aminoácidos não essenciais aumentaram significativamente com o aumento do tempo de germinação e atingiram seu máximo nas 48 horas. Em particular, GABA, um ingrediente funcional com benefícios funcionais, aumentou durante a germinação.

Para Swieca et al. (2017) na análise de proteína e amido em pães enriquecidos com farinha trigo germinado, o conteúdo de proteínas das farinhas não foi influenciado pela maltagem, entretanto pequenas diferenças foram encontradas na fração glutenina/gliadina. O perfil eletroforético das proteínas totais extraídas de farinha trigo germinado e não germinado mostram que as subunidades de gluteninas de alto peso molecular e as  $\alpha$  e  $\beta$ -gliadinas foram mobilizadas durante a germinação. Comparada com a farinha de trigo, na farinha de trigo de grão germinado, houve um aumento no volume das bandas proteicas com massa molecular entre 29-38kDa e 15-17kDa. Após a adição da farinha de trigo germinada nos pães, foram observadas algumas mudanças quantitativas e qualitativas no padrão eletroforético das proteínas, resultante da composição das frações de proteína da farinha de trigo germinada.

### 2.3.2 Efeitos da adição de malte nas propriedades da massa e de panificação

A aplicação de trigo germinado como método para melhoria do valor nutricional e *flavour* de produtos à base de cereais está crescendo nos últimos anos. Estudos tem mostrado que, durante a germinação ocorre aumento dos açúcares redutores, dos aminoácidos livres, dos minerais bioacessíveis, das fibras solúveis, dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante (DINGA et al., 2018). Quanto ao desempenho como ingrediente em produtos de panificação, estudos tem mostrado que pães de FTGI elaborados com trigo germinado obtiveram aumento no volume específico, diminuição no tempo de fermentação, e menor amargor, quando comparados com pães elaborados sem a adição de malte (RICHTER et al., 2014).

Os atributos de qualidade de tortilhas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro e substituídas por trigo erminado nas proporções de 25, 50, 75 e 100% foram estudadas por Liu at al. (2016). Os resultados encontrados foram uma diminuição significativa na absorção de água, no tempo de formação da massa e na estabilidade com o aumento da adição de farinha de grão germinado. Os autores atribuíram esses resultados ao menor conteúdo de amido danificado e ao aumento da hidrólise das proteínas pela enzima protease na amostra germinada, o que enfraquece a rede de glúten. Em outro estudo, a absorção de água e o tempo de desenvolvimento da massa também diminuíram quando adicionado 15% de farinha de grãos duros germinados (SHAFQAT, 2013). O autor afirma que isso ocorre pela hidrólise das proteínas pelas proteases durante o processo de germinação do grão. O tempo de desenvolvimento da massa, a absorção de água e a estabilidade também foram menores em estudo realizado por Morad e Rubenthaler (1983). Os autores estudaram farinha trigo germinado mole com 20 h e 36 h de germinação e compararam com farinha de trigo mole não germinada. Para os autores, a massa elaborada com malte germinado por mais tempo ficou fraca.

Com a finalidade de comparar as propriedades da massa e do pão, Makinen e Arendt (2012) adicionaram farinha trigo germinado em farinhas de trigo nas concentrações de 0,5, 1, 2,5 e 5%. Entre os resultados, o volume específico dos pães aumentou com o aumento dos níveis de malte para todas as amostras. O efeito do malte foi melhor em 5% de substituição. O miolo dos pães produzidos com 2,5 e 5% trigo germinado mostraram-se pegajosos. Isso está associado com a produção de dextrinas pela  $\alpha$ -amilase. Houve um escurecimento da crosta dos pães com malte de trigo, além do alvéolos mais arredondados e paredes da crosta mais finas. As características de miolo e crosta depende do produto, mas para pães de farinha de trigo refinada, miolo com alvéolos pequenos, poucos e arredondados são indesejáveis.

Os efeitos da germinação do trigo sobre a panificação foram avaliados através do volume específico, da firmeza e da cor dos pães por Baranzelli (2017). Para o experimento, a autora germinou grãos de trigo por 24, 48 e 72 horas. Os pães foram realizados com 100% de farinha refinada dos trigos germinados. A germinação por 48 e 72 horas aumentou o volume específico dos pães, contudo o pão com farinha germinada por 24 horas não diferiu do controle. O volume específico dos pães germinados foi em torno de 14% superior ao pão de farinha não germinada (controle), ou seja, os pães ficaram mais leves. A firmeza dos pães de farinha de trigo germinada foi significativamente superior em relação ao pão controle. Foi observado aumento da firmeza de aproximadamente 40% nos pães germinados por 24, 48 horas e de 60% no pão germinado 72 horas. Um aspecto que afeta a firmeza de pães consiste na qualidade das proteínas da farinha. Segundo a autora, a maior firmeza dos pães pode ser resultado do enfraquecimento do glúten, que dificulta a retenção de gás da massa de farinha de trigo. Glúten forte causa diminuição da firmeza do pão, elevados teores de gliadinas e gluteninas mostrou correlação negativa com a firmeza, porém as que mais contribuem para o aumento da firmeza são as gluteninas, sugerindo que maior conteúdo de glutenina resulta em pão menos macio. Porém, são principalmente as gluteninas que contribuem para o maior volume específico de pão.

Baranzelli (2017) ainda apresentou outros resultados importantes. Os pães de farinha de trigo germinado apresentaram resultados de luminosidade ( $L^*$ ) mais baixos quando comparados ao pão de grão não germinado. Em relação às características internas dos pães, foi verificado que a germinação induzida não causou alterações significativas ( $p \leq 0,05$ ) nas características da crosta, na cor do miolo, na estrutura da célula e na textura do miolo dos pães avaliados. Os pães não apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) no que se refere ao aroma, sendo que o pão de farinha germinada por 48 horas foi aquele que apresentou aroma mais agradável, característico de pão, assim como o pão de germinação por 24 horas foi aquele com aroma menos agradável. Para o sabor dos pães, o pão com farinha controle teve melhor aceitação. A pontuação geral obtida pela avaliação dos pães teve escores que variaram de 69,4 a 79,7 pontos, porém sem diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ), numa escala de 100. Foi verificado pelo teste de características tecnológicas de qualidade, que apesar de haver diferenças entre as características avaliadas individualmente, na pontuação final essas diferenças foram mascaradas, tornando os pães produzidos com farinha controle e os de farinha germinada em todos os tempos, iguais entre si.

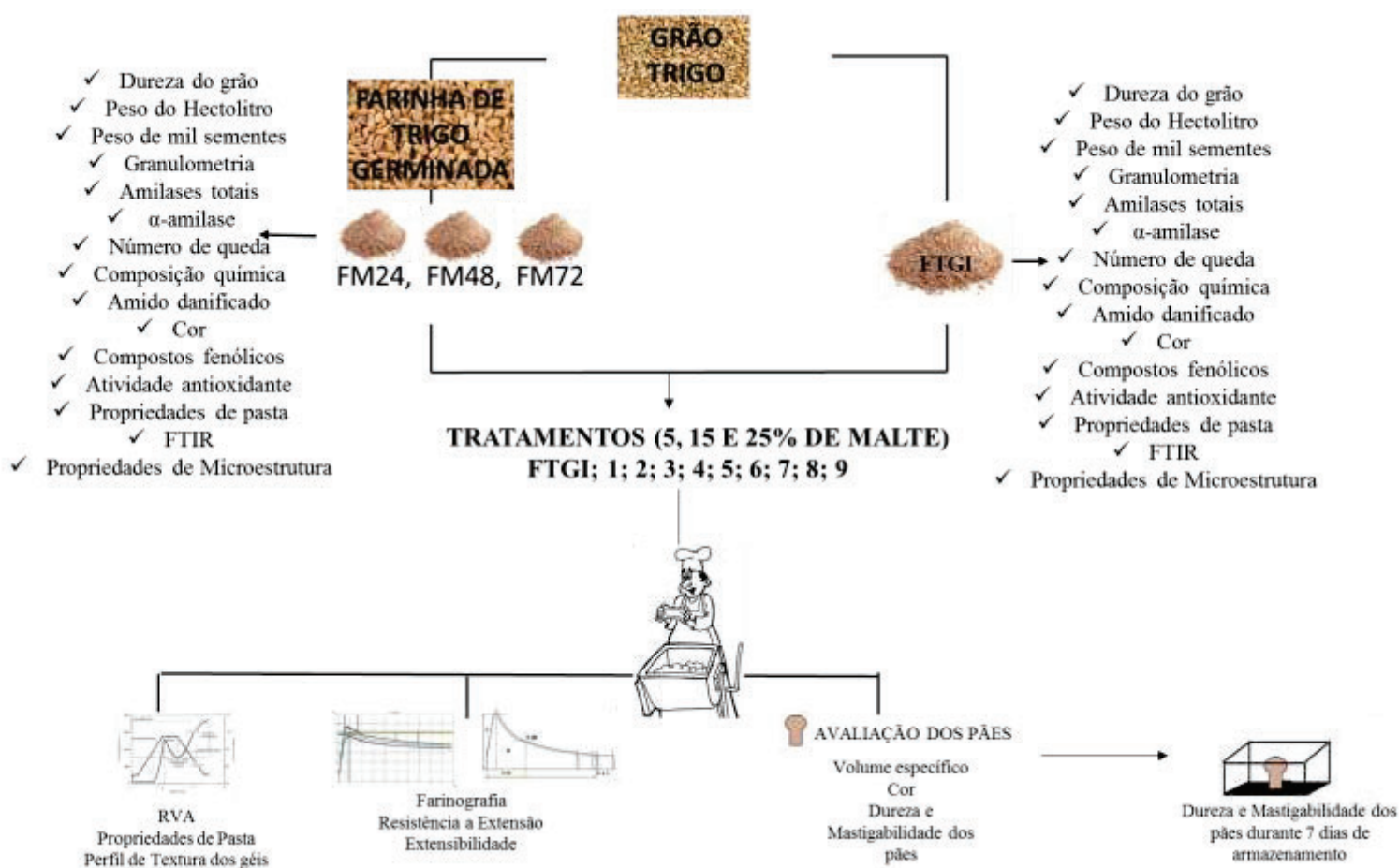
Diferentes estudos com aplicação de grãos germinados em produtos finais, como pães já foram desenvolvidos, indicando limitações e possibilidades. Grande parte desses estudos são

direcionados a farinhas refinadas, mas a crescente demanda por produtos integrais, cria a necessidade de mais estudos sobre a influência da adição de malte em farinhas de trigo de grão inteiro.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A produção de malte, a moagem das amostras, a caracterização das farinhas e o estudo do comportamento da FTGI substituída por farinha trigo germinado sobre as propriedades da massa e de panificação estão representadas na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma das atividades experimentais



#### 3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL

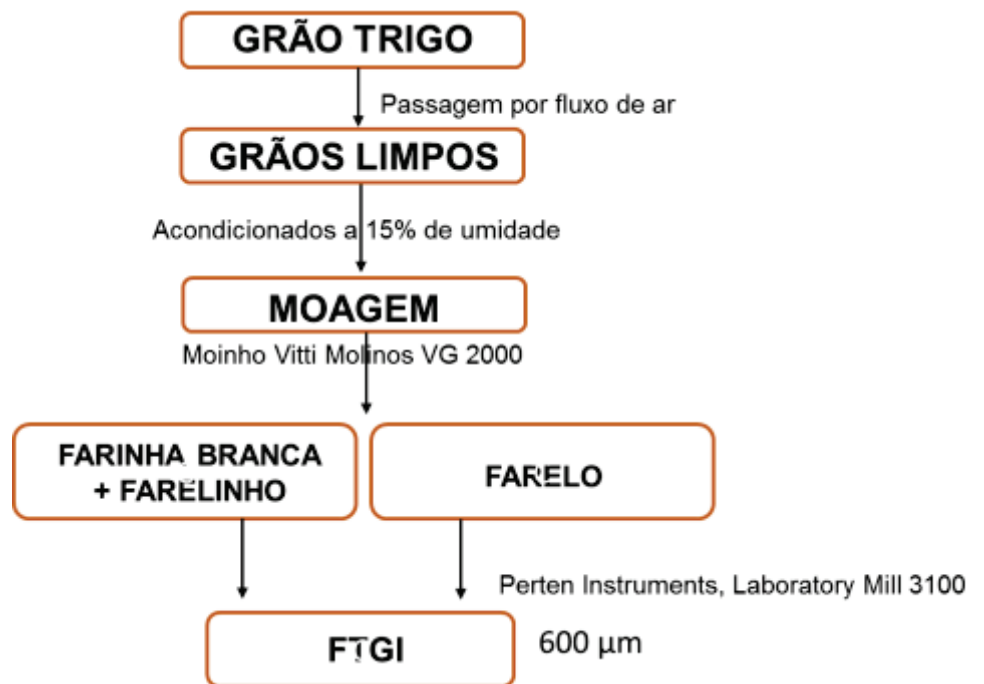
Os grãos de trigo utilizados para essa pesquisa foram provenientes da cultivar Ametista, classificada pelo obtentor como Trigo Pão/Melhorador, através da IN 38 (BRASIL, 2010), produzidos na safra 2017 e gentilmente doados pela empresa OR Melhoramento de Sementes.



### 3.1.1 Produção da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI)

Para obtenção da FTGI foi utilizado o moinho de laboratório (VG 2000, Vitti Molinos, Brasil). A farinha branca e o farelo fino foram misturados. O farelo grosso foi moído pela combinação de duas passagens em moinho piloto (CD1, Chopin, França), utilizando a etapa de redução, com a moagem do farelo restante em moinho de laboratório (Hammer Mill, Perten Instruments, EUA), para obtenção de tamanho de partícula do farelo menor que 600 micrômetros (30 mesh) (DUBAT, 2015). O farelo foi reincorporado às outras duas partes, obtendo-se farinha de trigo de grão inteiro. As três partes foram misturadas em bateadeira (BP-06, Lieme, Brasil) durante 10 min. A Figura 8 representa o fluxograma de obtenção da FTGI.

Figura 8- Fluxograma de obtenção da FTGI



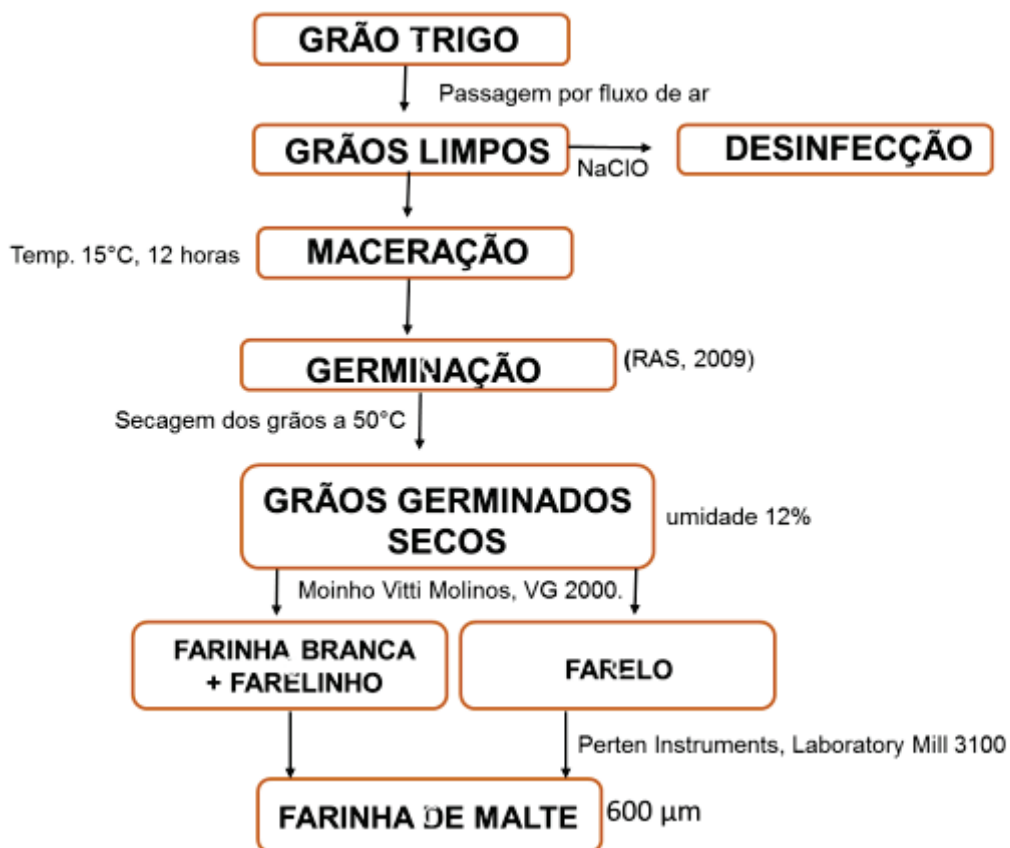
### 3.1.2 Produção da farinha de trigo germinado

Para a germinação dos grãos de trigo, foi realizado o teste de germinação dos grãos de acordo com as Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

O processo de obtenção da farinha de trigo germinado envolveu etapas de limpeza dos grãos em selecionador de impurezas digital (Modelo ME 06, Mediza), onde os grãos passaram por um fluxo de ar e as impurezas como sementes estranhas, terra, areia e pedras foram

eliminadas. Os grãos de trigo limpos e livres de impurezas foram imersos em solução de hipoclorito de sódio a 1% (v/v) por 15 min para evitar proliferação de microrganismos. Foi seguido de lavagem com excesso de água destilada para retirada dos resíduos. Posteriormente macerados com água destilada (5 kg de grão para 10 L de água) a temperatura constante de 15°C por 12 horas, onde os grãos atingiram a umidade de 40%. Os grãos macerados foram dispostos em duas camadas de 1 cm cada, dentro de bandejas, onde as camadas foram separadas por papel germinador. As bandejas foram conduzidas à germinação em germinador de sementes (Modelo Mangelsdorf, J.Prolab) em temperatura constante de 20°C e umidade relativa de ar de 98%. A germinação foi interrompida mediante a secagem dos grãos em estufa (Modelo 502, Fanem) em temperatura de 50°C até a umidade de 12% em três diferentes tempos 24, 48 e 72 horas de germinação, gerando 3 farinhas germinadas. Para a obtenção da farinha foram retiradas as radículas e coleótilo. A produção das farinhas trigo germinado passou pelo mesmo processo da FTGI (Figura 8). A Figura 9 representa o fluxograma de obtenção da farinha trigo germinado.

Figura 9 - Fluxograma de obtenção das farinhas trigo germinado



### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para a primeira etapa, a FTGI não germinada (NG - controle) e as farinhas trigo germinado produzidas com 24, 48 e 72 h de germinação foram caracterizadas através de testes físico químicos e reológicos. Todas as análises foram realizadas em triplicata, com exceção da microscopia eletrônica de varredura. Para a segunda etapa, onde foi estudada a interferência da substituição de FTGI por farinha trigo germinado (FM), o experimento foi realizado através de delineamento fatorial completo 3 x 2, sendo as variáveis tempo de germinação para os grãos de trigo (24, 48 e 72 horas) e proporções de substituição de FTGI por malte de trigo (5, 15 e 25%) totalizando 9 tratamentos. O controle foi 100% de farinha de grão inteiro.

Tabela 1 - Matriz experimental do delineamento fatorial completo 3<sup>2</sup>

Tratamento	Tempo de germinação (h)	Substituição (%)
1	24 (-1)	5 (-1)
2	24 (-1)	15 (0)
3	24 (-1)	25 (+1)
4	48 (0)	5 (-1)
5	48 (0)	15 (0)
6	48 (0)	25 (+1)
7	72 (+1)	5 (-1)
8	72 (+1)	15 (0)
9	72 (+1)	25 (+1)
FTGI	0	0

### 3.3 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

#### 3.3.1 Índice de dureza do grão

O índice de dureza dos grãos de trigo não germinados e dos grãos dos trigos germinados foi medido em equipamento Single Kernel Characterization System (SKCS 4100, Perten Instruments, EUA), através do método AACCI 55-31.01 (2010). Para calcular o ID foram usados os dados do perfil de esmagamento do grão modificados para peso, umidade e temperatura.

### 3.3.2 Peso do hectolitro (PH)

O PH é a massa de 100 litros de trigo, expressa em quilogramas. O peso do hectolitro dos grãos de trigo não germinados e dos grãos dos maltes foi medido em balança de massa hectolétrica (DalleMolle, Brasil), realizado de acordo com a metodologia descrita nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), em triplicata e os resultados expressos em  $\text{kg.hL}^{-1}$ .

### 3.3.3 Massa de mil grãos

Foram contadas as sementes em séries de 100 até que se chegasse 1.000 sementes, realizado de acordo com a metodologia descrita nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009)

### 3.3.4 Granulometria

A granulometria da FTGI e das farinhas trigo germinado foi determinada pela passagem de 100 g de amostra pelo medidor de partículas Laser Particle Size Analyzer (S2-WD dry, Battersize Instruments, China) através do método n° 55-40.01, AACCI (2010).

### 3.3.5 Amilases totais e $\alpha$ -amilase

A determinação da atividade amilolítica total e da enzima  $\alpha$ -amilase da FTGI e das farinhas trigo germinado foi realizada seguindo a metodologia descrita por Saman, Vázquez e Pandiella (2008). O extrato enzimático foi obtido a partir da suspensão de 1,0 g de farinha em 10 mL de solução de cloreto de cálcio 0,2%, misturado em vórtex por 1 min, homogeneizado durante 30 min e centrifugado a 1000  $\times g$ . A atividade amilolítica total foi determinada pela incubação de 0,5 mL do sobrenadante do extrato enzimático em substrato composto de solução de amido solúvel 1% em tampão acetato 0,05  $\text{mol.L}^{-1}$  (pH 5,0). As amostras foram incubadas a 60°C por 5 min, seguida de 5 min a 90°C, a fim de interromper a reação.

A atividade da enzima  $\alpha$ -amilase seguiu o mesmo procedimento da atividade amilolítica total com modificações na temperatura e tempo de incubação. A mistura do extrato enzimático e substrato foi incubada a 70°C por 15 min para inativar as enzimas  $\beta$ -amilase e  $\alpha$ -glucosidase, desta forma tendo atuação somente da  $\alpha$ -amilase, e em seguida, foi colocada em banho a 90°C para finalizar a reação. Após cada reação enzimática, foram coletados 100  $\mu\text{L}$  e adicionados

100 µL de DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico), incubados por 5 min a 90°C, para a reação de cor, 1,2 mL de água destilada foi adicionado e a absorbância foi medida a 540 nm. Uma unidade de atividade amilolítica total e de  $\alpha$ -amilase (UA) foi considerada como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de maltose por minuto.

### **3.3.6 Número de queda (NQ)**

A atividade da enzima  $\alpha$ -amilase da FTGI e das farinhas trigo germinado foi determinada pelo número de queda pelo método nº 56-81.03 da AACCI (2010), em equipamento Falling Number (FN 1800, Perten Instruments, EUA).

### **3.3.7 Composição química**

O conteúdo de proteínas totais, umidade, lipídios, fibras, cinzas e carboidratos da FTGI das farinhas trigo germinado foi medido em equipamento NIR (DS 2500, Foss, Dinamarca) pelo método nº 39-00.01 da AACCI (2010).

### **3.3.8 Amido danificado**

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

### **3.3.9 Cor**

A determinação de cor das farinhas foi medida pelo equipamento Espectrofotômetro de Refletância Difusa (ColorQuest II, HunterLab, EUA), com sensor óptico geométrico de esfera para obtenção dos valores L\* (luminosidade) variam entre zero (preto) e 100 (branco), -a\* (verde) até +a\* (vermelho), e -b\* (azul) a +b\* (amarelo).

### **3.3.10 Propriedades de pasta**

As propriedades de pasta da FTGI e das farinhas trigo germinado foram analisadas no equipamento Viscosímetro (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). Foi utilizado 3,5 g de farinha e  $25 \pm 0,1$  mL de água destilada, corrigidas para 14% de umidade, sendo considerados os parâmetros: temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante que é ligada à quebra e viscosidade final, associada à tendência à retrogradação.

### **3.3.11 Análise do perfil de textura dos géis**

A análise do perfil de textura dos géis foi realizado em texturômetro (TA.XTplus, Stable Micro Systems, Reino Unido) utilizando dois ciclos de compressão. As amostras tiveram 50% da sua altura inicial comprimida em uma velocidade de  $5 \text{ mm.s}^{-1}$  por uma sonda cilíndrica de 36 mm de diâmetro. Os parâmetros de perfil de textura foram calculados de acordo com as normas do software do equipamento com base no gráfico resultante da análise

### **3.3.12 Determinação de compostos fenólicos**

O conteúdo de compostos fenólicos totais da FTGI das farinhas trigo germinado foi determinado utilizando o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu proposto por Singleton; Orthofer; Lamuela-Raventos (1999). Aliquotas (100  $\mu\text{L}$ ) de diluições apropriadas dos extratos foram oxidadas com o reagente de Folin-Ciocalteu (500  $\mu\text{L}$ ), e a reação neutralizada com carbonato de sódio saturado (75 g/L; 1,5 mL). Após período de incubação por 2 h a temperatura ambiente, a absorbância da solução azul resultante foi medida em espectrofotômetro a 764 nm. A quantificação foi realizada com base em uma curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes em ácido gálico (GAE)/100 g de peso seco (PS).

### **3.3.13 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)**

Os espectros das farinhas foram coletados usando um espectrômetro de FTIR (600 series, Agilent Technologies, EUA) equipado com acessório de refletância total atenuada

(ATR). As amostras foram escaneadas de 650 até 4000  $\text{cm}^{-1}$  com 4  $\text{cm}^{-1}$  de resolução. Uma média de 48 escaneamentos foi utilizada para cada espectro.

### **3.3.14 Microestrutura da massa**

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) produz imagens tridimensionais e de alta resolução da superfície da amostra, úteis para avaliar a estrutura da amostra, os aspectos topográficos (BENJAKUL; KARNJANAPRATUM, 2018) a composição e outras características que compõem o material (FALTERMAIER et al., 2015). É largamente utilizada na ciência para visualizar processos biológicos, estruturais ou químicos que são comumente investigados por métodos analíticos.

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada nas massas das amostras de farinha, as quais foram preparadas pelo método de Kim et al. (2003) com adaptações. A amostra de massa foi preparada em Promilógrafo utilizando a absorção de água da farinha e substituindo 2% deste valor por cloreto de sódio. O tempo de formação da massa utilizado foi o tempo necessário para atingir a consistência de 500 UF.

Após o preparo, as amostras foram congeladas em ultra freezer (CL120-80V, Coldlab, Brasil) a - 70 °C e desidratadas em liofilizador (LS X.000, Terroni, Brasil) por 48 h. Após, foram encaminhadas para o laboratório de microscopia eletrônica de varredura, onde as mesmas foram submetidas a metalização (recobrimento utilizando uma liga de Au/Pd) com aproximadamente 5 nm de espessura.

Posteriormente, as amostras foram colocadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (VEGA LM 3, Tescan, República Checa) onde foi utilizado alto vácuo, com uma tensão de 20kV, distancia de trabalho de 15mm e ampliações na ordem de 1000x.

### **3.3.15 Propriedades da massa**

#### *3.3.15.1 Farinografia*

O comportamento de cada tratamento durante o processo de mistura foi avaliado segundo o método nº 54-21.02 da AACCI (2010), em equipamento farinógrafo (Farinograph-E, Brabender, Alemanha) utilizando 50 g de farinha de trigo. Os parâmetros considerados foram absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, índice de tolerância à mistura e estabilidade da massa.

### 3.3.15.2 Resistência à extensão e extensibilidade

A resistência à extensão e extensibilidade da massa de cada tratamento foi determinado pelo analisador de textura (TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Reino Unido) para determinar. Para o preparo da massa dos tratamentos foi utilizado promilógrafo (T6-E, Koloman Egger, Áustria), utilizando 200 g de farinha de trigo corrigidos para 14% de umidade, onde a quantidade de água adicionada e o tempo de desenvolvimento da massa foram correspondentes a consistência de 500 UF. Após o preparo da massa, a mesma permaneceu em descanso por 45 min. Logo após, foram separados 50 g de cada amostra de massa para a confecção de tiras com aproximadamente 7 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento em molde específico do analisador de textura (modelo TA-XT2i, Stable Micro Systems, Reino Unido), equipado com o software Exponent 32, empregando probe Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig(A/KIE). As condições aplicadas ao ensaio foram: velocidade de pré-teste: 2,0 mm/s, velocidade de teste: 3,3 mm/s, velocidade de pós-teste: 10,0 mm/s e distância de 75,0 mm.

### 3.3.16 Teste de panificação

O preparo da massa de cada tratamento foi realizado como descrito por ORO (2013) com modificações. A massa foi preparada utilizando a masseira do farinografia (Farinograph-E, Brabender, Alemanha) utilizando 50 g de farinha de trigo. As massas foram preparadas utilizando as farinhas dos tratamentos, gordura vegetal hidrogenada (3%), cloreto de sódio (2%), ácido ascórbico (0,01%), açúcar (5%), fermento biológico (3%), água a 4,0°C adicionada de acordo com a absorção previamente determinada nas propriedades de mistura da massa.

A farinha foi colocada na masseira do equipamento (mantida em temperatura constante de 30 °C) e misturada durante 1 min. Em seguida, foram adicionados o açúcar, o fermento, o sal e a gordura vegetal hidrogenada e também misturados durante 1 minuto. Após este período, foi adicionada água destilada em quantidade suficiente para que a massa formada atingisse a consistência máxima de 650 ( $\pm$  20) UF, empregando como tempo de desenvolvimento da massa o pico de desenvolvimento fornecido pelo equipamento. Finalizada a etapa de amassamento, a massa foi fracionada pesada e dividida em partes iguais de 35 g. As frações foram moldadas com o auxílio de cilindro manual (Pasiani, Brasil) e colocadas em formas de aço inox, previamente untadas com gordura vegetal hidrogenada. As massas permaneceram em câmara de descanso (Multi Pão, Brasil) sob temperatura controlada de 30°C e 100% de umidade relativa



durante 40 min. Posteriormente, foram submetidas a cozimento em forno (QA 226, Labor Instruments Works, Hungria) com temperatura controlada de 150°C e tempo de cozimento de 12 min. Os pães permaneceram em temperatura ambiente por 1 hora após cozimento para esfriar antes das análises de qualidade.

### **3.3.17 Avaliação das características de qualidade dos pães**

#### *3.3.17.1 Volume específico*

O volume específico dos pães foi determinado em aparelho Vondel, (VDMV-03/MVP-1300, Vondel, Brasil), pelo deslocamento de sementes de canola e o volume específico calculado pela relação entre o volume do pão assado e a sua massa, obtida por pesagem em balança semi analítica. Os resultados foram expressos em  $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ .

#### *3.3.17.2 Cor*

A cor foi determinada com espectrofotômetro de refletância difusa (ColorQuest II, HunterLab, EUA), com sensor ótico geométrico de esfera. O aparelho foi calibrado com cerâmica, realizando-se a leitura por reflexão e utilizando-se ângulo de observação de 2°, iluminante D75 e iluminante secundário D65. No sistema Hunter de cor, corrigido pela CIE, os valores  $L^*$  (luminosidade) variam entre zero (preto) e 100 (branco),  $-a^*$  (verde) até  $+a^*$  (vermelho), e  $-b^*$  (azul) a  $+b^*$  (amarelo).

#### *3.3.17.3 Firmeza, e Mastigabilidade dos pães*

A firmeza e a mastigabilidade dos pães foram determinadas através analisador de textura (TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Reino Unido) utilizando o método n 74-09.01 da AACCI (2010), no qual um probe cilíndrico de 36 mm comprimiu a amostra a 40% do tamanho original, a velocidade de  $1,7 \text{ mm.s}^{-1}$ , obtendo-se assim os parâmetros. Para a análise foram utilizadas seis fatias de pão de 25 mm de espessura.

### 3.3.18 Textura dos pães durante sete dias de armazenamento

Os pães de forma produzidos foram armazenados em sacos plásticos, dispostos dentro de potes plásticos com tampa, mantidos em sala à temperatura ambiente e avaliados no quarto e no sétimo dia de armazenamento. A firmeza e a mastigabilidade dos pães foram determinadas de acordo com o item 3.3.17.3.

## 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para etapa da caracterização das farinhas, a significância dos dados foi testada através da análise de variância (ANOVA) a 0,05 de probabilidade de erro e nos modelos significativos, as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança.

Para o estudo da influência da substituição da FTGI pelas farinhas trigo germinado, as análises descritivas foram calculadas por meio de média, desvio padrão e análises gráficas. Para os testes NQ, propriedades de pasta, resistência à extensão e extensibilidade, índice de tolerância a mistura e tempos de desenvolvimento da massa, volume específico, e textura dos pães, a análise de variância fatorial com tratamento adicional foi aplicada a probabilidade de 95% de erro. As pressuposições com relação ao modelo foram avaliadas por meio do teste de normalidade de Shapiro Wilk e homogeneidade de Bartlett. Quando satisfeitas as condições foi dado prosseguimento a análise verificando se ocorreram diferenças significativas entre tratamento adicional e os demais e a interação entre os efeitos tempo de germinação e porcentagem de substituição. O teste de Tukey foi aplicado na comparação de tratamentos onde existiu diferença significativa. Quando as condições da análise univariada não foram satisfeitas, tentativas de transformação dos dados foram aplicadas pela transformação de BoxCox. Para todas as análises o nível de significância foi de 5%.

Para os testes perfil de textura dos géis, absorção de água e estabilidade da massa, foi avaliado o índice de correlação de Pearson, caso significativo, análises multivariadas foram realizadas para melhor explicar os resultados. A técnica de análise de componentes principais foi aplicada nas variáveis para entender o relacionamento das variáveis resposta e a análise de agrupamento identificou os experimentos com maior grau de similaridade. Na análise de agrupamento foi empregado a distância euclidiana simples utilizando o método de associação de médias para a construção dos dendogramas. Todas as análises foram realizadas com a utilização do software R versão 3.5.2

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS GRÃOS, DA FTGI E DAS FARINHAS TRIGO GERMINADO

#### 4.1.1 Propriedades físicas dos grãos de trigo

Os valores de massa de mil grãos (MMG), peso do hectolitro (PH), e índice de dureza (ID) dos grãos de trigo não germinados (NG) e dos grãos germinados por 24, 48 e 72 horas estão apresentados na Tabela 2. A MMG foi superior na amostra não germinada e teve uma redução gradual com o aumento do tempo de germinação. Os grãos germinados apresentaram menores valores de MMG devido à perda de matéria seca resultante da degradação de reservas durante a germinação (MARES; MRVA, 2008), porém o tempo de 24 h não diferiu da amostra não germinada.

Uma diminuição significativa do PH das amostras foi observada após a germinação, sendo essa redução mais intensa nas amostras com 48 e 72 h de germinação. Os valores de PH representaram as perdas quantitativas totais, resultantes do aumento da atividade enzimática estimulada durante a germinação o que promoveu a perda de matéria seca nos grãos (MARES e MRVA, 2008).

Tabela 2 - Propriedades físicas dos grãos de trigo não germinados (NG) e germinados

Tempo de germinação (h)	MMG (g)	PH (Kg.hL <sup>-1</sup> )	ID
NG	39,1 <sup>a</sup> ± 0,8	83,7 <sup>a</sup> ± 0,2	89,1 <sup>b</sup> ± 0,7
24	37,5 <sup>ab</sup> ± 0,6	79,1 <sup>b</sup> ± 0,2	97,1 <sup>a</sup> ± 0,7
48	35,9 <sup>bc</sup> ± 0,1	74,0 <sup>c</sup> ± 0,2	87,4 <sup>b</sup> ± 0,8
72	35,1 <sup>c</sup> ± 0,1	73,5 <sup>c</sup> ± 0,2	88,1 <sup>b</sup> ± 1,1

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. MMG: massa de mil grãos. PH: peso do hectolitro. ID: índice de dureza.

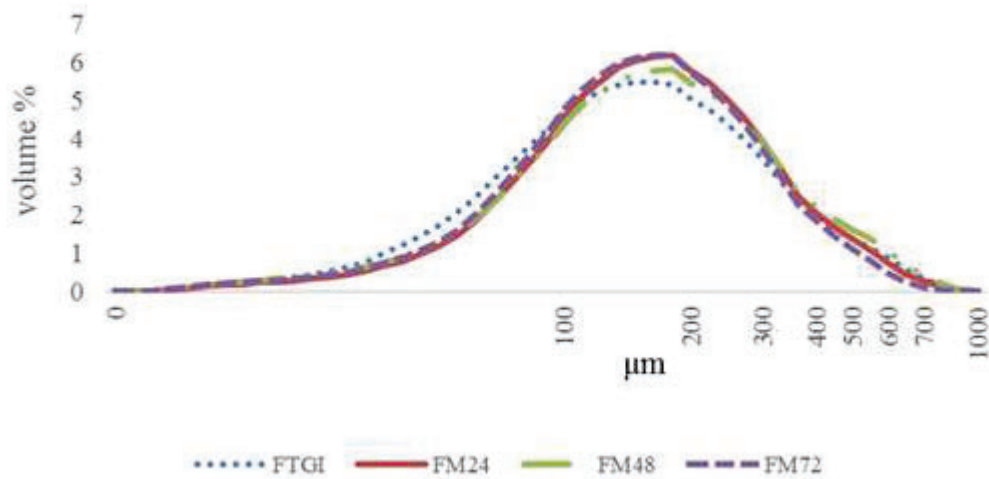
O índice de dureza do grão é uma característica importante pois interfere no tamanho da partícula da farinha, na quantidade de amido danificado, na absorção de água e na razão de extração durante a moagem. Esses fatores são importantes pois influenciam as características de qualidade da farinha de trigo (HOSENEY, 1991). Pode-se classificar os grãos de trigo como extra duro (ID >90) muito duro (81-90), duro (65-80), semi-duro (45-64), semi-mole (35-44), mole (25-34), muito mole (10-24) e extra mole (< 10) (AACCI, 2010).

Os valores de ID dos grãos variaram de 87,4 a 97,1, sendo os grãos da cultivar utilizada para esse estudo classificada como muito duro (AACCI, 2010). A germinação durante 24 h acarretou em aumento no ID dos grãos. No entanto a dureza foi atenuada com o aumento do período de germinação (48 e 72 h), não diferindo da amostra NG. Esses valores corroboram com Baranzelli et al., (2018), que obteve valores de ID superiores nos grãos germinados por 24 horas, em relação aos grãos não germinados e germinados por 48 e 72 h. Durante a germinação, pela ação das enzimas, os nutrientes de reserva como os carboidratos, proteínas e lipídios são mobilizados para fornecer energia para o crescimento da planta. Como resultado dessa ação, mudanças ocorrem tanto no endosperma como na camada de aleurona, o que resulta na diminuição da dureza (DZIKI et al., 2015) a partir das 48 horas de germinação.

#### **4.1.2 Caracterização granulométrica**

A distribuição granulométrica das partículas nas amostras de FTGI e das farinhas trigo germinado estão apresentadas na Figura 10. As amostras apresentaram tamanho de partícula menor que 600 $\mu$ m, pois, segundo estudo de Bressiani et al., (2017) o tamanho das partículas da farinha influencia na funcionalidade da FTGI e partículas com tamanho médio de 608,44  $\mu$ m pode ser considerado o de menor impacto nas propriedades de massa e de panificação. A FTGI teve maior volume de partículas menores que 100  $\mu$ m em relação as amostras de malte. Isso pode ter ocorrido porque a FTGI foi moída com umidade de 14,5% enquanto as amostras de malte foram moídas com umidade de 10%. A adição de água enrijece o farelo e amacia o endosperma, facilitando a separação das frações, o que pode aumentar a quantidade de partículas menores quando as amostras são mais úmidas. Zucco, et al. (2012) observaram que trigos a partir de 18 horas de germinação produzem maior quantidade de farelo quando comparados com grãos não germinados. Segundo o autor isso ocorre pela perda de matéria seca no endosperma. Esse fato também pode justificar a maior proporção de partículas menores na farinha controle, uma vez que o farelo possui partículas maiores.

Figura 10 - Distribuição do tamanho de partícula da Farinha de Trigo de Grão Inteiro (FTGI) e das farinhas trigo germinado (FM) germinadas por 24 (FM 24), 48 (FM 48) e 72 (FM 72) horas.



#### 4.1.3 Atividade enzimática e número de queda

Os valores obtidos nas amostras de FTGI não germinada (NG) e nas farinhas trigo germinado estão apresentados na Tabela 3. A germinação ativa principalmente a síntese de enzimas amilolíticas que atuam na degradação de amido, sendo a  $\alpha$ -amilase a principal enzima ativada e responsável pela hidrólise do amido (SAMAN et al., 2008).

Tabela 3 - Atividade amilolítica e número de queda (NQ) da farinha de trigo de grão inteiro não germinada (NG) e das farinhas trigo germinado germinadas em diferentes tempos.

Tempo de germinação (h)	NQ (s)	Atividade amilolítica total (U/g)	Atividade de $\alpha$ -amilase (U/g)
NG	297 <sup>a</sup> ± 3	134,0 <sup>d</sup> ± 1,5	38,7 <sup>d</sup> ± 0,8
24	292 <sup>a</sup> ± 1	157,4 <sup>c</sup> ± 0,7	43,1 <sup>c</sup> ± 0,9
48	123 <sup>b</sup> ± 2	168,0 <sup>b</sup> ± 1,6	60,1 <sup>b</sup> ± 0,4
72	92 <sup>c</sup> ± 1	192,0 <sup>a</sup> ± 2,6	66,8 <sup>a</sup> ± 0,9

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A germinação por 24 h não acarretou em diferença significativa no NQ em comparação com a amostra não germinada. No entanto, uma diminuição no NQ conforme aumentou o tempo de germinação foi observado. Conseqüentemente, a atividade amilolítica total e de  $\alpha$ -amilase aumentaram significativamente com o aumento do tempo de germinação a partir das 48 h, sendo que a maior atividade ocorreu na amostra germinada por 72 h. Os dados de atividade enzimática confirmam a síntese e o acúmulo de enzimas amilolíticas durante as fases da germinação, desde

os primeiros dias. A  $\alpha$ -amilase hidrolisa grandes moléculas de amido resultando em redução na viscosidade do gel e NQ (BARANZELLI, 2017; DING et al.; 2018).

Por outro lado, alguns estudos relatam que, dependendo das condições de germinação, as proteases não são ativadas nas primeiras 72 h de germinação (ICHINOSE et al., 2001; BARANZELLI, 2017). Briggs (2002) relata que os grãos dormentes de cevada possuem proteínas que são inibidoras das suas próprias proteases e que, com o aumento do tempo de germinação, esses inibidores diminuem em quantidade até sua total destruição. Uma vez que as proteínas do trigo são responsáveis pelas características finais dos produtos de panificação, a não ativação das proteases nos primeiros dias de germinação é desejável.

#### 4.1.4 Caracterização físico-química

As mudanças na composição físico-química das farinhas trigo germinado estão apresentadas na Tabela 4. A amostra germinada por 72 h apresentou diminuição no teor de amido e como consequência um maior teor de proteína, fibras e cinza ( $p < 0,05$ ), em relação a todas as outras amostras. O menor valor de proteína foi encontrado na NG (12,35%). O teor de lipídios foi mais alto na amostra com 24 h e foi o único valor que diferiu significativamente das outras amostras. O menor teor de amido 52,78%, foi encontrado na amostra com 72 h, enquanto que a NG apresentou o maior valor 57,25% de amido.

Tabela 4 - Composição físico-química da farinha de trigo de grão inteiro não germinadas (NG) e das farinhas trigo germinado germinadas em diferentes tempos.

Tempo de germinação (h)	Proteína (%)	Lipídios (%)	Amido (%)	Fibras (%)	Cinzas (%)
NG	12,35 <sup>c</sup> ± 0,11	1,75 <sup>b</sup> ± 0,03	57,25 <sup>a</sup> ± 0,21	1,77 <sup>d</sup> ± 0,06	1,64 <sup>b</sup> ± 0,01
24	13,47 <sup>b</sup> ± 0,12	1,93 <sup>a</sup> ± 0,01	56,20 <sup>b</sup> ± 0,26	2,04 <sup>b</sup> ± 0,04	1,59 <sup>c</sup> ± 0,01
48	13,60 <sup>b</sup> ± 0,08	1,78 <sup>b</sup> ± 0,06	55,92 <sup>b</sup> ± 0,25	2,18 <sup>c</sup> ± 0,04	1,58 <sup>c</sup> ± 0,02
72	14,18 <sup>a</sup> ± 0,13	1,71 <sup>b</sup> ± 0,01	52,78 <sup>c</sup> ± 0,29	2,48 <sup>a</sup> ± 0,06	1,79 <sup>a</sup> ± 0,01

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As mudanças na composição do grão iniciam primeiramente com a hidrólise dos carboidratos que são transformados por enzimas em compostos simples e utilizados na respiração, na produção de novas células do embrião e no transporte de nutrientes para o broto (TAIZ e ZEIGER, 2006). Dessa forma, com a perda de amido durante a germinação, o peso do grão diminuiu enquanto que as proteínas, fibras e as cinzas permaneceram inalteradas mas aumentaram proporcionalmente ao peso total do grão (HUNG et al., 2011).

#### 4.1.5 Amido danificado

O amido danificado forma-se durante a moagem do grão de trigo para a produção de farinha, nas etapas de quebra e redução, devido a danos mecânicos nos grânulos de amidos. O grau de dano varia com a intensidade do processo de moagem e a dureza do grão de trigo e, tem importante influência na taxa de hidratação das farinhas. Os teores de amido danificado variaram entre 4,0% e 4,9%, sendo que a amostra germinada por 72 apresentou o menor valor e a FTGI (NG) o maior valor. As farinhas germinadas por 24 e 48 h apresentaram valores de 4,45 e 4,1% respectivamente. Apesar de os valores médios apresentarem diferenças significativas entre si, são considerados valores aceitáveis para uma cultivar destinada à panificação. Os resultados mostram que a moagem aplicada nos maltes não afetou a estrutura do amido já que durante a moagem, pequena proporção (4-5%) de grânulos de amido foi fisicamente danificada.

#### 4.1.6 Cor

A cor da FTGI (NG) e das farinhas trigo germinado está apresentada na Tabela 5. Em relação à cor, diferenças significativas entre as amostras ( $p < 0,05$ ) em relação aos três parâmetros analisados foram observadas. Para o parâmetro de luminosidade, o malte germinado por 72 horas apresentou diferença significativa em relação às outras farinhas, apresentando a menor luminosidade. Este efeito está associado ao consumo de carboidratos durante a germinação, o que pode escurecer a amostra. As coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , que é a tendência a tons de cores avermelhados e amarelados, indicam que todas as amostras de farinha trigo germinado aumentaram esses parâmetros em relação a NG, o que pode ser justificado pelo aumento de componentes sintetizados durante a germinação, como  $\beta$ -caroteno por exemplo.

Tabela 5 - Avaliação da cor da farinha de trigo de grão inteiro não germinado (NG) e das farinhas trigo germinado com diferentes tempos de germinação.

Tempo de germinação (h)	L*	a*	b*
NG	78,2 <sup>a</sup> ± 0,2	2,0 <sup>b</sup> ± 0,1	9,9 <sup>c</sup> ± 0,2
24	77,8 <sup>a</sup> ± 0,1	2,3 <sup>a</sup> ± 0,0	11,0 <sup>a</sup> ± 0,0
48	78,3 <sup>a</sup> ± 0,2	2,2 <sup>ab</sup> ± 0,1	11,1 <sup>a</sup> ± 0,1
72	76,8 <sup>b</sup> ± 0,5	2,3 <sup>a</sup> ± 0,2	10,6 <sup>b</sup> ± 0,1

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. L\*: luminosidade;  $a^*$  e  $b^*$ : coordenadas de cromaticidade, tendência a tons de cores avermelhados e amarelados respectivamente.

#### 4.1.7 Propriedades de pasta

A viscosidade da farinha está relacionada com a capacidade do amido em absorver água e se reflete na extensão da gelatinização do grânulo. Nesse experimento, a atuação da enzima  $\alpha$ -amilase produzida durante a germinação, influenciou na formação e estabilidade do gel formado durante o teste. Conforme aumentou o tempo de germinação, maior for a produção da enzima e menores os valores encontrados nos parâmetros do teste (Tabela 6).

Tabela 6 - Propriedades de pasta da farinha de trigo de grão inteiro não germinado (NG) e das farinhas trigo germinado germinadas em diferentes tempos.

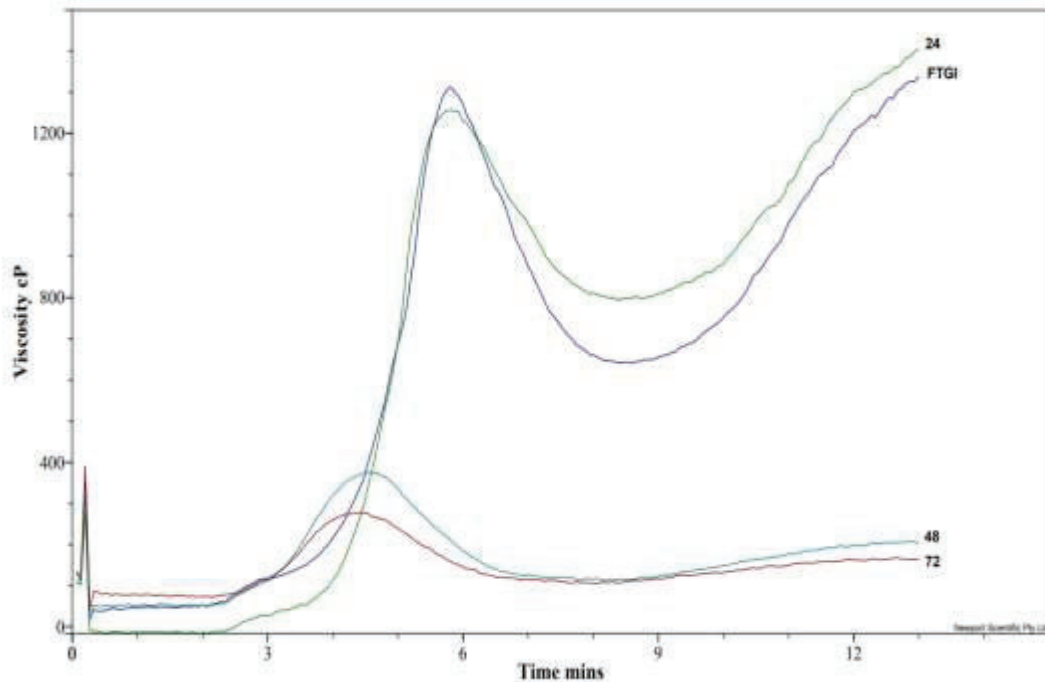
Tempo de germinação (h)	Pico de Viscosidade (cP)	Quebra (cP)	Viscosidade Final (cP)	Tendência Retrogradação (cP)
NG	1303,0 <sup>a</sup> ± 10,0	663,5 <sup>a</sup> ± 8,8	1235,5 <sup>b</sup> ± 12,5	696,0 <sup>a</sup> ± 1,0
24	1285,0 <sup>a</sup> ± 35,1	475,7 <sup>b</sup> ± 14,6	1428,3 <sup>a</sup> ± 6,3	619,0 <sup>b</sup> ± 10,4
48	362,5 <sup>b</sup> ± 12,5	261,0 <sup>c</sup> ± 1,0	191,5 <sup>c</sup> ± 13,5	90 <sup>c</sup> ± 2,0
72	249,0 <sup>c</sup> ± 28,0	167,0 <sup>d</sup> ± 5,0	139,5 <sup>d</sup> ± 25,5	57,5 <sup>d</sup> ± 2,5

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A germinação por 24h apresentou alterações menos intensas na farinha que as demais amostras germinadas, quando comparada com a farinha NG (Figura 11). Além disso, um aumento na viscosidade final dessa amostra foi observado. Isso pode estar relacionado com a intensidade da hidrólise do amido. A hidrólise enzimática por  $\alpha$ -amilase ocorre randomicamente nas ligações  $\alpha$  (1-4) e preferencialmente na região amorfa.



Figura 11 - Propriedades de pasta da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) não germinada e das farinhas trigo germinado germinadas por 24, 48 e 72 horas.



O pico de viscosidade é um parâmetro relacionado à capacidade do amido em absorver água e, conseqüentemente ao grau de intumescimento dos grânulos de amido durante o aquecimento (ORO et al., 2013). Foi observada diminuição gradual nos valores de pico de viscosidade das amostras com o aumento no tempo de germinação. Porém, o leve aumento na atividade enzimática nas primeiras 24 h não foi suficiente para alterar a viscosidade da farinha. Segundo Ichinose et al. (2001), o aumento da atividade de  $\alpha$ -amilase ocasionado pela germinação acarreta diminuição dos valores de pico de viscosidade, indicando a degradação do amido das farinhas de trigo estudadas. Uthumporn; Zaidul; Karim, (2010) avaliaram a hidrólise enzimática em amido de milho, mandioca, sago e feijão Mung. Os autores verificaram uma redução no pico de viscosidade nos amidos de milho e de mandioca. Eles atribuíram este comportamento pela desintegração de alguns grânulos de amido mais frágeis, diminuindo assim a capacidade dos grânulos de formar gel com a água.

A quebra da viscosidade é causada pela ruptura dos grânulos entumescidos (VANDEPUTTE et al., 2003), sendo quantificada pela diferença entre o pico de viscosidade e a viscosidade mínima durante o processo. A diminuição da quebra indica elevada estabilidade dos amidos quando submetidos a processos de aquecimento e agitação mecânica (KARIM et al., 2008). A quebra foi menor nas amostras com 48 e 72 horas de germinação, pois as alterações na estrutura molecular dos grânulos de amido durante a modificação enzimática afetaram a

forma que a enzima atua na hidrólise das moléculas de amido, podendo hidrolisar maiores quantidades de amilose.

A viscosidade final representa o valor da viscosidade após a amostra ser resfriada a 50°C e mantida nesta temperatura. A viscosidade final, associada à tendência à retrogradação, que é calculada pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima à temperatura constante, representam uma medida da tendência do amido em retrogradar (ORO et al., 2013).

Os parâmetros de viscosidade final e de tendência à retrogradação diferiram significativamente entre as amostras ( $p < 0,05$ ), sendo que os valores médios diminuíram à medida que aumentou o tempo de germinação a partir de 48 h. A tendência a retrogradação é influenciada pela lixiviação da amilose e pela presença de grânulos inchados e não fragmentados na suspensão de amido.

#### 4.1.8 Propriedades de mistura da massa

As alterações nas propriedades de mistura, absorção de água (AA), tempo de desenvolvimento da massa (TD), estabilidade e índice de tolerância a mistura (ITM), causadas pela germinação nas amostras de FTGI (NG) e nas farinhas de trigo germinado, podem ser verificadas Tabela 7.

Tabela 7- Propriedades de mistura da farinha de trigo de grão inteiro (NG) e das farinhas trigo germinado germinadas em diferentes tempos

Tempo de germinação (h)	AA (%)	TD (min)	Estabilidade (min)	ITM
NG	72,9 <sup>a</sup> ± 0,1	9,6 <sup>a</sup> ± 0,1	10,5 <sup>a</sup> ± 0,1	30,3 <sup>a</sup> ± 0,6
24	72,0 <sup>b</sup> ± 0,1	8,2 <sup>b</sup> ± 0,1	9,0 <sup>b</sup> ± 0,2	41,0 <sup>b</sup> ± 1,0
48	64,2 <sup>c</sup> ± 0,1	5,4 <sup>c</sup> ± 0,1	5,7 <sup>c</sup> ± 0,1	76,3 <sup>c</sup> ± 0,6
72	63,3 <sup>d</sup> ± 0,1	1,5 <sup>c</sup> ± 0,1	2,4 <sup>d</sup> ± 0,1	110,3 <sup>d</sup> ± 0,6

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. AA: absorção de água. TD: tempo de desenvolvimento. ITM: índice de tolerância a mistura.

A absorção de água das farinhas diminuiu com o aumento do tempo de germinação, sendo mais acentuada a partir das 48 horas. Uma vez que os principais componentes responsáveis pela absorção de água nas farinhas são o amido, as proteínas do glúten (ZAIDUL et al., 2004) e as fibras (AHMED et al., 2013), a diminuição da AA pode estar relacionada com a perda da capacidade de ligações de água tanto com as proteínas do glúten, quanto pela alteração nos grânulos de amido, que ocorre pela dextrinização do mesmo pelo aumento das enzimas amilolíticas, o que acarreta aumento de solubilidade e diminuição da absorção de água (FERNANDES et al., 2003).

O TDM e a estabilidade ao amassamento diminuíram significativamente entre todas as amostras com o aumento da germinação ( $p < 0,05$ ). A amostra com 72 h de germinação reduziu os valores de TDM e estabilidade em 6 e 4 vezes respectivamente em relação a NG. A germinação é capaz de causar alterações nas proteínas formadoras de glúten, seja por hidrólise de ligações intra ou intermoleculares de gliadinas e gluteninas (MARTI et al., 2017). Isso contribui para a diminuição do TDM (KERPES et al., 2016) e da estabilidade, o que indica o enfraquecimento da massa. Segundo Baranzelli (2017), a germinação torna a gliadinas e a gluteninas menos estáveis durante o processo de mistura prolongado.

O aumento no tempo de germinação acarretou em um aumento gradual no ITM. Segundo Kerpes et al. (2016), altos valores de ITM correspondem a farinhas que resistem pouco ao amassamento, o que indica que o aumento do tempo de germinação resultou no enfraquecimento das farinhas.

#### **4.1.9 Compostos Fenólicos e Capacidade Antioxidante**

A Tabela 8 mostra os resultados de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante das farinhas trigo germinado e FTGI. A maltagem dos grãos de trigo não influenciou no conteúdo de compostos fenólicos totais ( $p < 0,05$ ) em relação a NG. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha (2014), que evidencia que a quantidade de compostos fenólicos totais em amostras trigo germinado permanece inalterado até o quarto dia de germinação.

Um aumento na capacidade antioxidante das farinhas trigo germinado foi observado, sendo essa alteração mais intensa para farinha com 72 h de germinação. Esses resultados corroboram com os estudos recentes sobre germinação, que mostram que a germinação aumenta a capacidade antioxidante de sementes (TIAN et al., 2010; HUNG et al., 2011; SILVA et al., 2013).

O aumento da atividade antioxidante, mesmo sem alteração do teor de compostos fenólicos totais é um indicativo de que a atividade antioxidante pode ser atribuída a outros compostos e não exclusivamente aos compostos fenólicos (SILVA et al., 2013). Além disso, o grau de hidroxilação e a posição dos grupos hidroxila na molécula dos compostos fenólicos estão entre os mais importantes fatores que determinam sua atividade antioxidante (LIMA, 2008).

Tabela 8 - Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante da farinha de trigo de grão inteiro não germinada (NG) e das farinhas trigo germinado com diferentes tempos de germinação

Tempo de germinação (h)	Compostos fenólicos totais (mg GAE/g)	Capacidade antioxidante ABTS (mM trolox/g)
NG	0,67 <sup>a</sup> ± 0,02	0,10 <sup>c</sup> ± 0,00
24	0,59 <sup>a</sup> ± 0,07	0,23 <sup>b</sup> ± 0,01
48	0,63 <sup>a</sup> ± 0,04	0,21 <sup>b</sup> ± 0,04
72	0,65 <sup>a</sup> ± 0,02	0,38 <sup>a</sup> ± 0,02

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

As proteínas do trigo possuem elevada atividade biológica e grande quantidade de sequencias de aminoácidos biologicamente ativos (CAVAZOS E MEJIA, 2013). De acordo com Zilic et al., (2011) em estudo sobre o efeito da atividade enzimática durante a germinação de trigo, os autores obtiveram aumento da atividade antioxidante das albuminas e globulinas de 30,3% em relação a amostra não germinada. Os autores afirmam que isso ocorre pelas mudanças estruturais das proteínas, assim como o aumento no nível de proteínas bioativas de baixo peso molecular liberadas no processo hidrolítico durante a germinação.

#### 4.1.10 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia de FTIR identifica grupos funcionais específicos dentro de uma molécula uma vez que a radiação infravermelha, quando absorvida por uma molécula orgânica, converte-se em energia de vibração molecular. As ligações covalentes que constituem as moléculas orgânicas estão em constantes movimentos axiais e angulares. A radiação no infravermelho faz com que átomos e grupos de átomos de compostos orgânicos vibrem com amplitude aumentada ao redor das ligações covalentes que os ligam. O espectro reflete o movimento vibracional e costuma aparecer em forma de bandas (PAVIA; LAMPMAN ; KRIS, 1996). A intensidade da banda é medida pela transmitância, definida pela razão entre a energia transmitida e a energia incidente na amostra analisada. A possibilidade de dois compostos diferentes terem o mesmo espectro no infravermelho é improvável. (PAVIA; LAMPMAN ; KRIS, 1996). Os espectros de ATR-FTIR da FTGI (NG) e das farinhas trigo germinado estão apresentados na Figura 11. Os espectros indicam que nenhuma banda nova apareceu nas farinhas analisadas, o que sugere que não foram formados novos grupos funcionais durante a germinação dos grãos de trigo.

A FTGI e as farinhas trigo germinado possuem bandas de absorção intensas entre 900 e 1170  $\text{cm}^{-1}$ , características dos polissacarídeos. As bandas de amido apresentam um intenso sinal

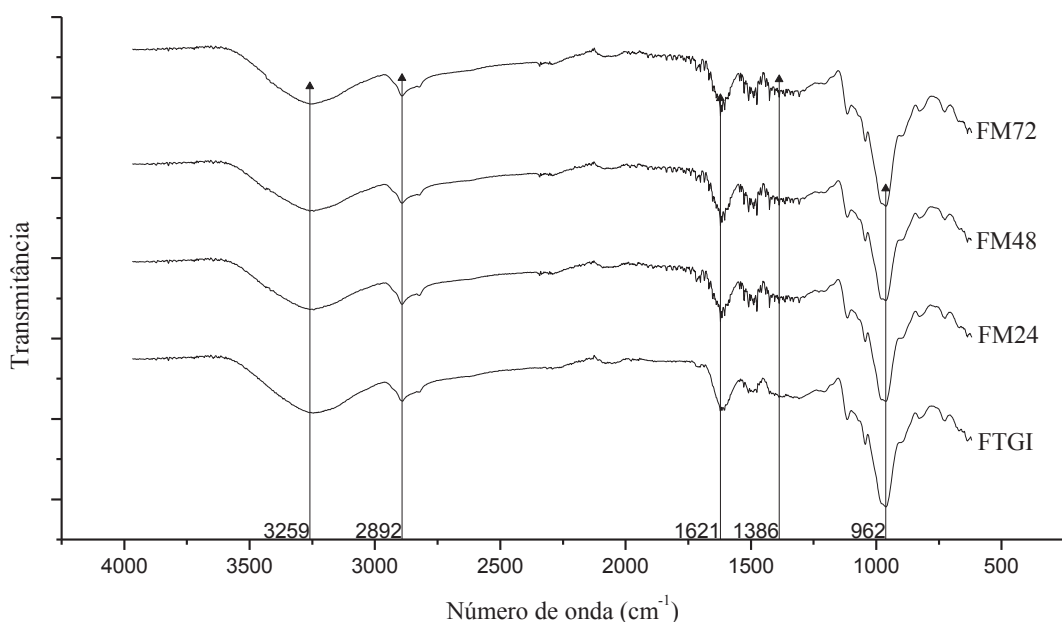
de absorção a  $990\text{ cm}^{-1}$  e características mais fracas entre  $1430$  e  $1720\text{ cm}^{-1}$  (bandas características de glúten), o que concorda com as proporções relativas de amido (62-72%) e glúten (9 -15%) nas farinhas. As bandas características do amido de trigo ao redor de  $1020$  (intenso),  $1080$  e  $1150\text{ cm}^{-1}$  estão associadas às vibrações de estiramento das moléculas polissacarídicas acopladas C-O e C-C.

A banda de amida I é encontrada entre  $1720$  e  $1580\text{ cm}^{-1}$  (80% da vibração do estiramento axial C=O do grupo amida acoplado aos modos de deformação angular N-H no plano e do estiramento axial C-N). A amida II (60% deformação angular N-H, 30% estiramento axial C-N e 10% estiramento axial C-C) e a amida III corresponde a faixa entre  $1430$  e  $1480\text{ cm}^{-1}$  (faixa complexa resultante de vários deslocamentos coordenados, mas corresponde principalmente de 30% do estiramento O=C-N) (KADDOUR et al., 2008; LI et al., 2006).

A região entre  $3000$  e  $2800\text{ cm}^{-1}$  mostra os modos vibracionais do estiramento da ligação C-H nos grupos  $-\text{CH}_3$  e  $>\text{CH}_2$  que são atribuídos aos ácidos graxos de lipídios.

A região entre  $4000$  e  $3000\text{ cm}^{-1}$  é representada por uma banda larga devido aos modos vibracionais de estiramento de O-H em torno de  $3400\text{ cm}^{-1}$ . A largura da banda está relacionada a associação devido a ligação de hidrogênio. As amidas secundárias com a configuração TRANS apresentam duas bandas: A em  $3300$  e B em  $3100\text{ cm}^{-1}$ , ao passo que a configuração CIS apresentam A em  $3200$  e B em  $3100\text{ cm}^{-1}$  (TWARDOWSKI; ANZENBACHER, 1994).

Figura 12 - Espectros de ATR-FTIR da farinha de trigo de grão inteiro não germinada e das farinhas trigo germinado



#### 4.1.11 Microestrutura da massa

A microestrutura das massas da FTGI e das farinhas trigo germinado estão ilustradas na Figura 13. Observa-se um sistema complexo com presença de grânulos de amido (GA) e proteínas formado pela rede de glúten (RG) com grânulos de amido incorporados e a presença do farelo de trigo (F) (destacadas pelas setas). Na massa de FTGI, a microestrutura apresenta os grânulos de amido e a matriz de glúten em grandes áreas separadas, o que indica que presença das fibras interfere na formação da rede de glúten (BRESSIANI et al., 2017). Apesar da interferência das fibras, a matriz proteica da amostra de FTGI parece estar contínua e homogênea.

A maltagem acarretou em alterações na microscopia, uma vez que a matriz de glúten aparece descontínua criando uma desordem entre a rede de glúten e as moléculas de amido. Essas alterações foram mais intensas a medida que o tempo de germinação aumentou, como mostra a Figura 13a (controle - não germinado), 13b (24 h de germinação) 13c (48 h de germinação) e 13 d (72 h de germinação).

Figura 13 - Microestrutura das massas da farinha de trigo de grão inteiro e das farinhas trigo germinado

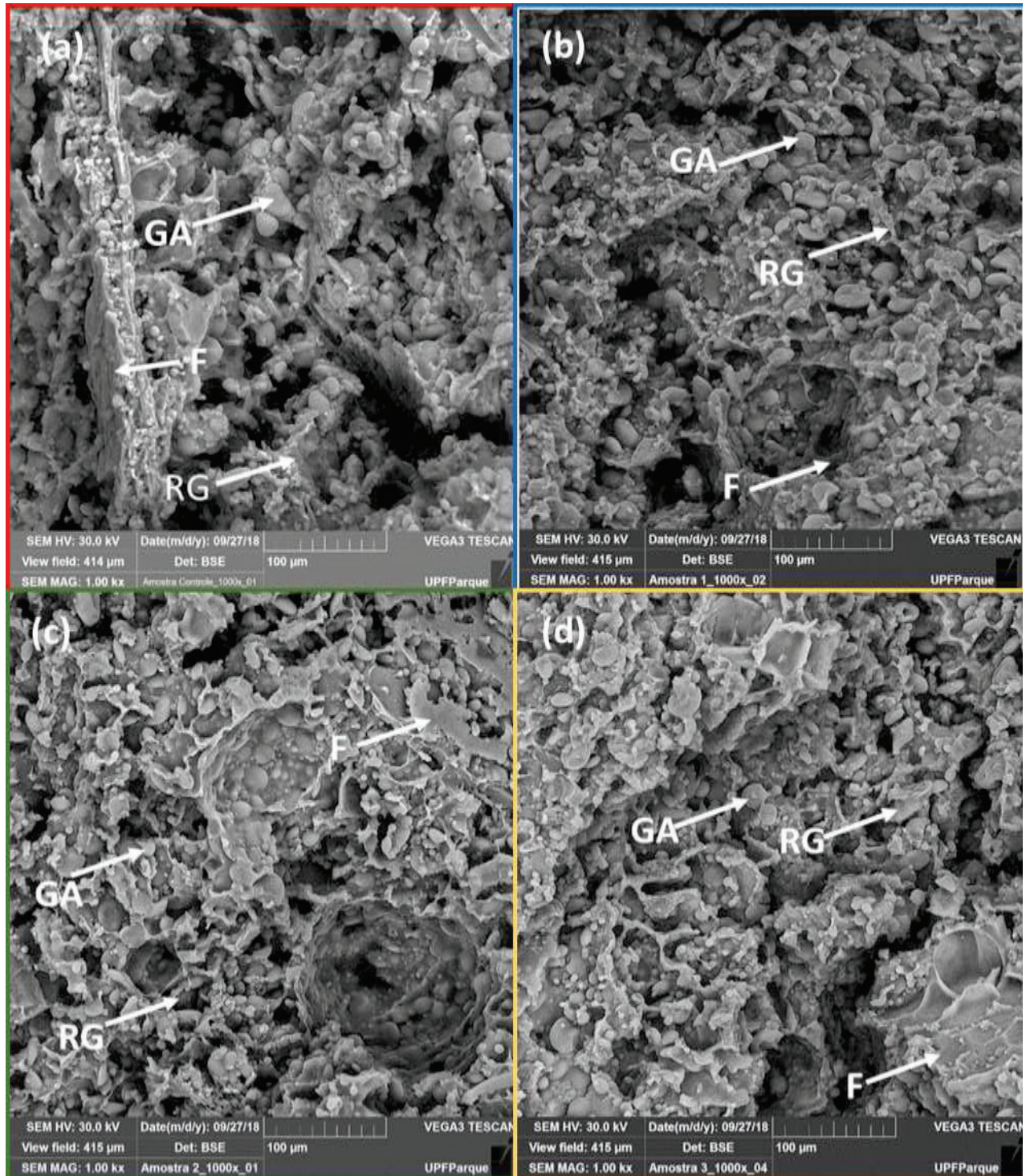


Figura (a): FTGI; (b): FM 24; (c): FM 48; (d): FM72. Onde GA = grânulo de amido ; GR = granulo de amido; F = farelo de trigo.

As pontes de dissulfeto são formadas por uma reação de oxidação, dessa forma a diminuição na qualidade do glúten pode ser relacionada com o aumento da atividade antioxidante, uma vez que os antioxidantes são compostos capazes de inibir reações de oxidação (BENZIE, 2003). Bressiani et al. (2017) afirma que as camadas externas do grão também

podem interagir com o glúten através de seus constituintes, por meio de mecanismos químicos, afetando a qualidade da formação da rede de glúten.

As mudanças observadas pelo MEV podem ser confirmadas através da observação das propriedades de formação da massa, onde a maltagem diminuiu a estabilidade da massa e a tolerância ao amassamento, indicando um enfraquecimento na rede de glúten com o aumento do tempo de germinação.



## 4.2 EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DE FTGI POR FARINHA TRIGO GERMINADO

### 4.2.1 Número de queda

A análise de variância representada por (\*) indica que houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre os fatores tempo de germinação e porcentagem de substituição de farinha trigo germinado e entre o controle com os demais tratamentos. Na Tabela 9 são apresentados os valores médios do número de queda (NQ) e seus respectivos desvios, padrão bem como o resultado do teste de Tukey na comparação entre os tratamentos.

O maior valor de NQ foi encontrado na FTGI e o menor valor no tratamento FM 72-25%. A IN n° 38 (BRASIL, 2010) determina que o valor mínimo para farinhas destinadas a panificação deve ser 220 segundos. Farinhas com alto NQ ( $>350$  s) têm uma capacidade reduzida para formar açúcares fermentáveis, enquanto que farinhas com resultado baixo NQ ( $<250$  s) resultam em uma massa difícil de manusear e produtos com característica entumecida devido à alta atividade enzimática (CODINA; LEAHU, 2009).

Tabela 9 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nos valores de número de queda

Tempo (h)	% de substituição			
	0	5	15	25
0	313 ± 1*			
24		298 ± 1 Aa	288 ± 1 Ab	285 ± 0 Ab
48		297 ± 1 Aa	266 ± 0 Bb	239 ± 4 Bc
72		289 ± 0 Ba	234 ± 3 Cb	204 ± 1 Cc

Diferentes letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) para as médias submetidas ao teste Tukey. \*indica que existe efeito significativo.

O NQ diminui significativamente conforme aumentou o tempo de germinação, para todos os níveis de substituição, exceto para FM72-5% que apresentou valor significativamente inferior. Além disso, o aumento na porcentagem de substituição de farinha trigo germinado gerou diminuição gradual valor de NQ. Ao substituir 5% de FTGI por farinha trigo germinado, os valores médios dos tratamentos com FM 24 e FM 48 não tiveram diferenças significativas entre si, mas ambos tiveram diferença significativa para o tratamento com substituição do FM 72. Apesar da intensidade de germinação ser superior na FM 72, a substituição de 5% gerou um NQ mais alto do que a substituição a nível de 15% para todas as farinhas trigo germinado.

Com base nessa análise pode-se sugerir que a farinha trigo germinado pode ser utilizada para corrigir farinhas com alta atividade enzimática, mas a observação do tempo de germinação

e da quantidade de farinha trigo germinado utilizada é importante para atingir a característica adequadas para a fabricação de produtos de panificação.

#### **4.2.2 Propriedades de Pasta**

A análise de variância representada por (\*) indica que existe efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre os fatores tempo de germinação e porcentagem de substituição de farinha trigo germinado e entre o controle com os demais tratamentos. Na Tabela 10 são apresentados os valores médios e seus respectivos desvios padrão bem como o resultado do teste de Tukey para comparação entre os tratamentos. Os dados mostram que ocorreu uma diminuição no pico de viscosidade em relação a FTGI, quando foram adicionadas as farinhas trigo germinado a partir de 48 h de germinação, em qualquer proporção. A utilização de FM 24 não alterou significativamente o pico de viscosidade nos diferentes níveis de substituição (Figura 14a). Como discutido anteriormente na caracterização das farinhas, a FM24 não apresentou diferença significativa em relação ao controle para o parâmetro pico de viscosidade (Tabela 6), dessa forma, o pico se manterá o mesmo independentemente da quantidade de farinha trigo germinado utilizada. A redução no pico de viscosidade pode ser explicado pelo menor teor de amido nos tratamentos com mais intensidade de substituição, uma vez que ocorreu redução no teor de amido pela hidrólise (Tabela 4).

A quebra representa a medida do grau de desintegração dos grânulos de amido devido à agitação mecânica contínua a altas temperaturas. Os valores de quebra das amostras com FM 24, independente da concentração e FM 48 até 15% não demonstraram diferenças significativas. Porém quando utilizado FM 72, a quebra foi significativamente inferior à medida que aumentou o nível de substituição. A substituição 5% não gerou diminuição significativa no valor de quebra entre as diferentes farinhas trigo germinado

Tabela 10 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nas propriedades de pasta

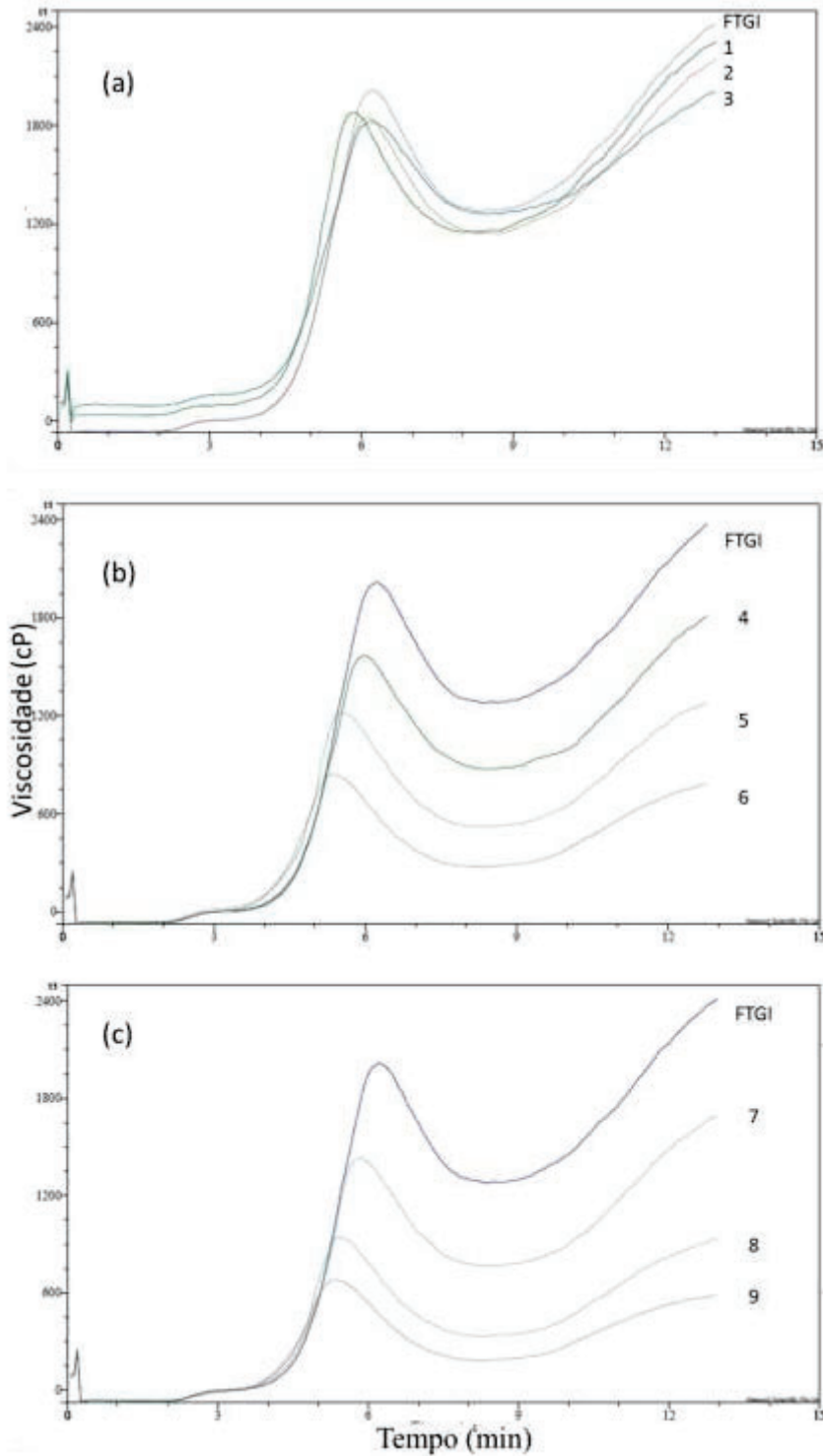
	Tempo	% substituição			
		0	5	15	25
Pico de Viscosidade (cP)	0	2004,0±17,0*			
	24		1944,0±101,8 Aa	1920,0±101,8 Aa	1918,5±65,7 Aa
	48		1563,5±4,9 Ba	1192,9±32,5 Bb	857,5±20,5 Bc
	72		1421,5±20,5 Ba	954,0±11,4 Cb	694,0±18,4 Cc
	0	756,0±24,1*			
Quebra (cP)	24		751,7±26,5 Aa	738,5±36,1 Aa	757,8±44,9 Aa
	48		706,9±18,4 Aa	682,5±20,4 Aa	581,5±17,6 Bb
	72		682,9±18,4 Aa	611,5±3,6 Bb	510,0±21,2 Cc
	0	2405,5±20,5*			
Viscosidade final (cP)	24		2391,0±0,0 Aa	2249,0±67,9 Ab	2239,0±65,1 Ab
	48		1842,5±31,8 Ba	1279,5±30,5 Bb	806,5±6,4 Bc
	72		1690,5±6,4 Ca	953,5±6,4 Cb	586,0±2,8 Cc
	0	1144,5± 3,5*			
Tendência a retrogradação (cP)	24		1150,5±11,9 Aa	1078,0±18,4 Ab	1074,0± 38,2Ab
	48		1019,5±7,8 Ba	769,0±18,4 Bb	530,5±3,6 Bc
	72		915,9±21,2 Ca	611,0±0,0 Cb	402,0±0,0 Cc
	0	88,7± 0,0ns			
Temperatura de pasta (°C)	24		87,9±1,1	88,0±1,3	88,1±1,1
	48		87,0±0,0	86,7±0,6	85,6±2,4
	72		88,0±0,0	86,4±1,3	86,9±0,6

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si. Medidas com a mesma letra minúscula na linha não difere entre si. \* indica que existe efeito significativo.

A viscosidade final e a retrogradação mostraram comportamento similares, com redução nos valores conforme aumentou a porcentagem da substituição de farinha trigo germinado. Pode-se observar ainda que a substituição de FM 72-5% teve menor influência na redução da viscosidade final e na retrogradação do que a substituição de FM 48 a partir de 15%. A retrogradação indica a reorganização das moléculas de amido durante o resfriamento e está diretamente relacionada com o envelhecimento de pães e o consequente aumento da firmeza do miolo (DEMIRKESEN et al.,2013). Valores menores de retrogradação podem indicar que degradação do amido durante a germinação contribui para uma menor recristalização das moléculas de amido gelatinizado (LIU et.al., 2016). Os valores de pico de viscosidade, quebra e NQ também seguem a mesma tendência. Nesse caso pode-se dizer que as propriedades de

pasta, para as condições apresentadas nesse trabalho, são mais influenciadas pela quantidade de farinha trigo germinado substituída do que pelo tempo de germinação do malte.

Figura 14 – Propriedades de pasta da farinha de trigo de grão inteiro e dos tratamentos.



A temperatura de pasta indica em que momento a viscosidade começa a aumentar durante o período de aquecimento e também, representa a temperatura mínima para que uma

amostra seja cozida (ORO et al., 2013). A temperatura de pasta não apresentou diferenças significativa entre as amostras avaliadas. Esse parâmetro é influenciado pela razão de amilose/amilopectina presente no amido, e quando possuem elevados teores de amilopectina com grandes proporções de cadeias ramificadas, podem apresentar alta temperatura de gelatinização (FRANCO et al., 2002), como descritas por Ragae e Abdel-aal (2006) e Leon et al. (2010) que relataram temperaturas de 95°C e 82,2°C, respectivamente. Assim, os resultados desse trabalho sugerem que, as possíveis variações na razão dessas macromoléculas durante a germinação, não foram suficientes para alterar a temperatura de pasta nas proporções de substituição nesses tratamentos.

#### **4.2.3 Análise do Perfil de Textura (TPA) dos géis**

A firmeza dos géis diminuiu com a utilização das farinhas trigo germinado, com exceção de FM24-5%. A diminuição da firmeza foi mais acentuada quando utilizadas FM48 e FM72 (Tabela 11). A hidrólise das moléculas de amido que ocorre em consequência do aumento da atividade enzimática durante a germinação, deixa os géis mais moles, uma vez que a firmeza depende de forças coesivas entre as moléculas de amido. Maior interação entre as moléculas resulta em maior resistência e firmeza do gel, impedindo que as partículas se desprendam e grudem na superfície do probe (SANDHU; SINGH, 2007).

A substituição de FTGI por farinha malte não apresentou grandes variações nas características de elasticidade e coesividade, o que indica que as mudanças na estrutura do amido durante a germinação e as proporções de substituição, não foram suficientes para alterar as características estruturais do gel. A elasticidade constitui medida da forma como a estrutura do gel quebra dentro da boca. Alta elasticidade aparece quando o gel quebra em pedaços grandes durante a primeira compressão. Géis pouco elásticos se rompem mais facilmente durante a mastigação do que outro mais elástico e firme (HUANG et al., 2007). A coesividade é a medida da força das ligações internos que compõem a estrutura (SANDHU; SINGH, 2007).

A gomosidade é calculada através da energia necessária para desintegrar um alimento semissólido até o estado em que esse alimento possa ser engolido (SZCZESNIAK, 2002). A substituição de FM 24 até 15% aumentou significativamente a gomosidade em relação a FTGI. Isso pode ser relacionado com a viscosidade final da FM 24 (Tabela 6), que aumentou em relação a amostra controle. Um comportamento inverso foi observado para os demais tratamentos, com diminuição considerável na gomosidade. A germinação a partir de 48h gerou

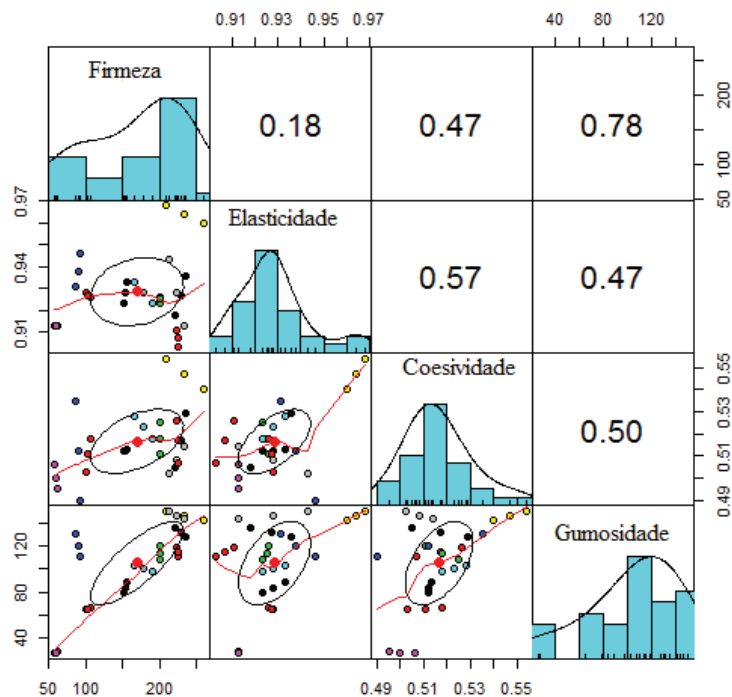
uma tendência a diminuição da gomosidade e foi mais pronunciada à medida que aumenta a intensidade de substituição.

Tabela 11 - Valores médios e desvio padrão do perfil de textura dos géis dos tratamentos

Tratamentos	Firmeza (g)	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade (g)
FTGI	228,6 ± 7,8	0,93 ± 0,00	0,52 ± 0,01	131,8 ± 3,8
1	234,7 ± 25,8	0,96 ± 0,00	0,55 ± 0,01	146,0 ± 4,0
2	223,0 ± 10,0	0,93 ± 0,01	0,51 ± 0,00	146,6 ± 3,0
3	225,0 ± 1,1	0,91 ± 0,00	0,52 ± 0,01	114,9 ± 4,4
4	201,4 ± 0,1	0,92 ± 0,00	0,52 ± 0,01	113,9 ± 5,9
5	153,6 ± 2,4	0,93 ± 0,00	0,51 ± 0,00	83,8 ± 4,8
6	89,3 ± 2,1	0,94 ± 0,01	0,51 ± 0,02	120,7 ± 10,0
7	177,6 ± 12,2	0,93 ± 0,00	0,52 ± 0,00	100,2 ± 2,3
8	103,4 ± 2,6	0,93 ± 0,00	0,51 ± 0,01	65,3 ± 0,4
9	59,6 ± 1,7	0,91 ± 0,00	0,50 ± 0,00	27,2 ± 0,5

Ao analisar a relação entre as variáveis representadas na Figura 15, nota-se que em algumas o grau de associação é considerado forte. Pelo teste de correlação de Pearson, a variável firmeza apresenta uma correlação linear positiva e não nula com relação a variável coesividade (0,47) e a variável gomosidade (0,78). A firmeza não se correlaciona com a variável elasticidade. A elasticidade se correlaciona positivamente com a variável coesividade (0,57) e com a variável gomosidade (0,47). O mesmo foi obtido entre as variáveis coesividade e gomosidade (0,50).

Figura 15 - Gráfico de dispersão e correlação das variáveis de textura dos géis



Como a correlação entre várias variáveis foi significativa, utilizando a técnica multivariada de clusters, verifica-se a similaridade de alguns tratamentos (Figura 16). Pelo dendograma pode-se observar que a substituição de FM 24 até 15% (TTO 1, 2 e FTGI) forma um grupo juntamente com o controle. A substituição FM 24-25% e FM 48-5% (TTO 3 e 4) causaram mudanças semelhantes na texturas dos géis. O mesmo ocorreu com a substituição FM48-15% e FM72-5% (TTO 5 e 7). As alterações nas propriedades dos géis das amostras foram mais intensas para os tratamentos maior teor de substituição e intensidade de germinação. Assim as amostras com FM48-25%, FM72-15% e FM72-25% (TTO 6, 8 e 9 respectivamente) formaram grupos isolados indicando a possibilidade de haver a formação de seis grupos diferentes entre os tratamentos estudados.

Figura 16 - Dendograma da análise de similaridade das variáveis textura do gel em relação aos tratamentos aplicados. As separações em vermelho são de acordo com os graus de similaridade.



## 4.2.4 Propriedades de formação da massa

### 4.2.4.1 Resistência à extensão e extensibilidade

A resistência à extensão ou elasticidade é a propriedade que relaciona a extensão à força aplicada na massa e a extensibilidade é a capacidade de extensão da massa, sem que ela se rompa. Esses parâmetros estão relacionados com a absorção de água durante o processo de formação da massa e também, com a capacidade da massa em reter o gás durante o processo de fermentação, o que determina o volume do pão.

A análise de variância representada pelo (\*), indica que houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre os fatores tempo de germinação e porcentagem de substituição de farinha trigo germinado e entre o controle com os demais tratamentos. Os valores médios e seus respectivos desvios padrão da resistência à extensão e da extensibilidade da massa, bem como o resultado do teste de Tukey na comparação entre os tratamentos, estão apresentados na Tabela 12. A substituição da FTGI por FM24 acarretou em aumento na resistência a extensão da massa em relação a FTGI, independente do teor de substituição. Isso sugere que as mudanças ocorridas durante as primeiras 24 h de germinação podem não ter interferido na capacidade da massa em resistir à extensão. No entanto a partir das 48 h de germinação, ocorreu diminuição gradativa da força, exceto para FM48-15%. As mudanças enzimáticas mais acentuadas podem ser observadas a partir de 48 horas de germinação, onde as características reológicas foram mais afetadas, como discutido anteriormente na caracterização das farinhas trigo germinado. Maior força e maior extensibilidade indicam produtos mais fortes e mais elásticos (LIU et al., 2016). Esses resultados sugerem que a adição de farinha maltada por 24h de germinação pode aumentar a força da massa produzida com FTGI e dessa forma ser utilizada em farinhas mais fracas.

Tabela 12 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nas propriedades de resistência à extensão e extensibilidade das massas

	Tempo	% de substituição			
		0	5	15	25
Resistência a Extensão (g)	0	65,3 ± 0,6*			
	24		67,7 ± 3,1 Aa	69,3 ± 0,6 Aa	65,7 ± 1,7 Ab
	48		60,7 ± 0,6 Bb	70,7 ± 0,8 Aa	51,4 ± 0,2 Bc
	72		49,7 ± 0,8 Ca	20,5 ± 1,0 Bb	8,9 ± 0,7 Cc
Extensibilidade (mm)	0	16,8 ± 0,3*			
	24		17,4 ± 0,1 Ba	17,6 ± 0,2 Ca	17,7 ± 0,1 Ba
	48		19,3 ± 0,6 Ab	22,0 ± 1,7 Aa	19,5 ± 0,4 Ab
	72		17,6 ± 0,2 Bb	19,0 ± 0,6 Ba	16,2 ± 0,6 Cc

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si. Medidas com a mesma letra minúscula na linha não difere entre si. \*indica que existe efeito significativo.

A extensibilidade da massa aumentou quando utilizadas FM24, FM48 e FM72 até 15% de substituição, em relação a FTGI. Observou-se também que a FTGI substituída por FM 24 não apresentou diferença significativa entre os diferentes teores de substituição. Ao substituir FTGI por FM 48 e FM72, ocorreu aumento nos valores médios da extensibilidade da massa e



foi significativamente superior quando substituído por 15% em ambas farinhas. Com base na análise dos valores médios de extensibilidade, pode-se observar que a adição de farinha trigo germinado aumentou significativamente o poder da massa em se estender e pode ser utilizada em farinhas pouco extensíveis.

#### 4.2.4.2 Farinografia

A absorção de água (AA), tempo de desenvolvimento da massa (TDM), estabilidade e índice de tolerância a mistura (ITM) das massas estão apresentadas na Tabela 13. A massa produzida com FTGI foi caracterizada por apresentar alta absorção de água (73%), influenciada pela força da massa e presença das fibras.

Tabela 13 - Valores médios e desvio padrão das propriedades de formação da massa dos tratamentos

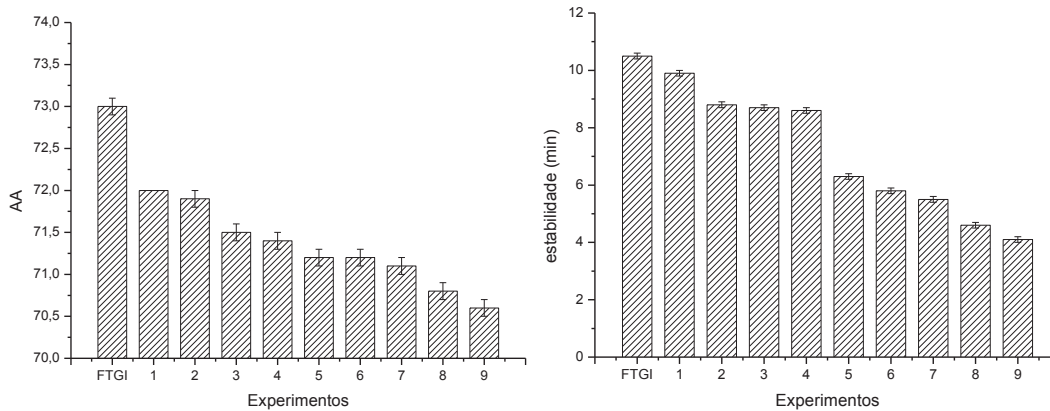
Tratamentos	AA (%)	TDM (min)	Estabilidade (min)	ITM
FTGI	73,0 ± 0,1	9,6 ± 0,1	10,5 ± 0,1	30,3 ± 0,1
1	72,0 ± 0,0	8,2 ± 0,1	9,9 ± 0,1	21,0 ± 1,0
2	71,9 ± 0,1	7,7 ± 0,1	8,8 ± 0,1	23,7 ± 0,6
3	71,5 ± 0,1	7,8 ± 0,1	8,7 ± 0,1	23,3 ± 1,1
4	71,4 ± 0,1	7,2 ± 0,1	8,6 ± 0,1	25,7 ± 0,6
5	71,2 ± 0,1	6,6 ± 0,1	6,3 ± 0,1	30,3 ± 0,6
6	71,2 ± 0,1	5,8 ± 0,1	5,8 ± 0,1	37,3 ± 0,6
7	71,1 ± 0,1	6,5 ± 0,1	5,5 ± 0,1	43,3 ± 0,6
8	70,8 ± 0,1	5,7 ± 0,1	4,6 ± 0,1	53,7 ± 0,6
9	70,6 ± 0,1	5,6 ± 0,1	4,1 ± 0,1	65,3 ± 0,6

A Figura 17 representa os valores de absorção de água (AA) (a) e estabilidade (b) da massa nos diferentes tratamentos. Pode-se observar que quanto maior o tempo de maltagem da farinha utilizada na substituição, menor quantidade de água foi necessária para formar a massa, em todas as porcentagens de substituição. Isso pode ter ocorrido devido a hidrólise enzimática de moléculas de amido e proteínas durante a maltagem (DINGA, et al., 2018; MARTI et al., 2017) pois, como mencionado anteriormente, essas moléculas são responsáveis pela AA.

O mesmo comportamento ocorreu para o parâmetro de estabilidade que diminuiu conforme aumentou a porcentagem de substituição, para todos os maltes estudados. A estabilidade fornece um indicativo da resistência que a massa possui ao tratamento mecânico e ao tempo do processo fermentativo na fabricação de pão. O maior valor encontrado foi de 10,5 min para a FTGI, considerado bom para farinhas destinadas a panificação, uma vez que a IN n°38 exige o mínimo de 10 min de estabilidade para classificar uma farinha obtida de Trigo classe pão (BRASIL, 2010). O menor valor (4,1 min) para o tratamento FM72-25% indicou

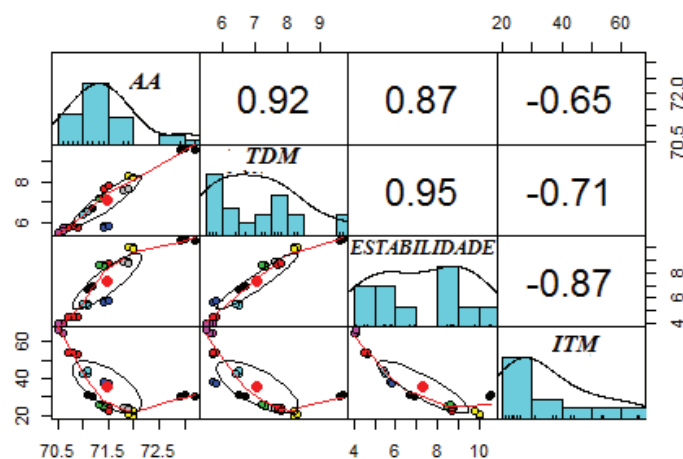
que a adição de farinha trigo germinado pode enfraquecer a farinha, pelo enfraquecimento da rede de glúten através da ação das enzimas (ZILIC et al., 2011). A tendência de diminuição da estabilidade foi mais pronunciada a partir do tratamento 5, onde a intensidade de germinação começou a aumentar.

Figura 17 - Valores de absorção de água (a) e estabilidade (b) dos tratamentos



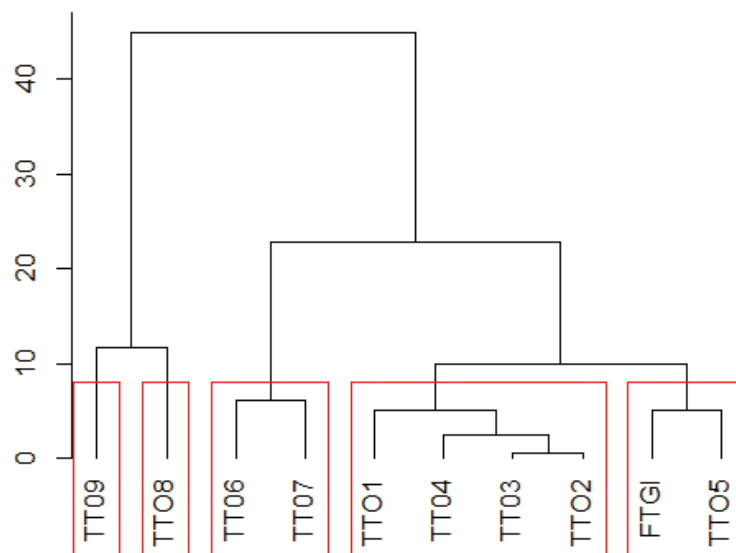
Ao analisar a relação entre as variáveis (Figura 18), nota-se que o grau de associação é considerado forte. Pelo teste de correlação de Pearson, a AA apresentou uma correlação linear positiva e não nula com relação a variável tempo de desenvolvimento da mistura (TDM) (0,92) e com a estabilidade (0,87), e ainda, possui correlação linear negativa (-0,65) com a variável índice de tolerância a mistura (ITM). A variável TDM apresentou correlação forte positiva com a estabilidade e correlação negativa com a variável ITM (-0,71). A variável estabilidade apresentou correlação forte negativa com a variável ITM.

Figura 18 - Gráfico de dispersão e correlação das variáveis de formação da massa.



Como a correlação entre as variáveis foi significativa, utilizando a técnica multivariada de Clusters, verificou-se a similaridade de alguns tratamentos (Figura 19). Note que os tratamentos 1, 2, 3 e 4 são similares; o que sugere que a adição de FM 24 em qualquer proporção e 5% de FM48 influenciam as propriedades de formação da massa de modo parecido. O mesmo ocorre entre os tratamentos 6 e 7 e entre os tratamentos 5 e FTGI. Os tratamentos 8 e 9 não se encaixaram em nenhum grupo, podendo estar relacionado com a intensidade do tratamento, bem como concentração utilizada para substituição. Isto indica a possibilidade de haver a formação de cinco grupos distintos entre os tratamentos estudados.

Figura 19 - Dendograma da análise de similaridade das variáveis de propriedade de formação da massa em relação aos tratamentos aplicados. As separações em vermelho são de acordo com os graus de similaridade



A análise de variância, representada pelo (\*) dos tratamentos elaborados pela combinação dos fatores em estudo no tempo de formação da massa e índice de tolerância da massa indica que existe efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre os fatores tempo de germinação e porcentagem de substituição de farinha trigo germinado e entre o controle com os demais tratamentos. Na Tabela 14 são apresentados os valores médios do TDM e ITM, seus respectivos desvios padrão bem como o resultado do teste Tukey na comparação entre os tratamentos. Para as variáveis estabilidade e AA as suposições de normalidade e homogeneidade não foram satisfeitas, mesmo com a transformação Boxcox, por isso não foram feitas as análises de variância e Tukey.

A substituição de farinha trigo germinado em todas as condições estudadas diminuiu o tempo de desenvolvimento da massa (TDM) com tendência na diminuição onde tiveram os

maiores teores de substituição. O parâmetro TDM é o ponto de máxima consistência, imediatamente antes da primeira indicação de enfraquecimento da massa. A germinação é capaz de promover mudanças nas proteínas formadoras de glúten através da hidrólise das ligações inter e intramoleculares entre as gliadinas e as gluteninas ou, através da quebra das pontes de dissulfeto entre os aminoácidos envolvidos (cistinas e cisteínas). Portanto, contribuindo com a redução do tempo de desenvolvimento (BARANZELLI, 2017).

Tabela 14 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no tempo de formação da massa e no índice de tolerância a mistura

	Tempo	% substituição			
		0	5	15	25
TDM (min)	0	9,6 ± 0,1*			
	24		8,2 ± 0,1Aa	7,7 ± 0,1Ab	7,8 ± 0,1Ab
	48		7,3 ± 0,1Ba	6,6 ± 0,1Bb	5,8 ± 0,1Bc
	72		6,5 ± 0,1Ca	5,7 ± 0,1Cb	5,6 ± 0,1Bb
ITM	0	30,3 ± 0,6*			
	24		21,0 ± 1,0Cb	23,7 ± 0,6Ca	23,3 ± 1,1Ca
	48		25,7 ± 0,6Bc	30,3 ± 0,6Bb	37,3 ± 0,6Ba
	72		43,3 ± 0,6Ac	53,7 ± 0,6Ab	65,3 ± 0,6Aa

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si. Medidas com a mesma letra minúscula na linha não difere entre si. \* indica que existe efeito significativo.

O parâmetro ITM fornece informações sobre maior ou menor tolerância da massa à mistura. Valores altos de ITM predizem uma massa mais fraca. A substituição da FTGI pela FM24, independente da concentração, e FM48 nas concentrações 5 e 15% apresentaram valores mais baixos em relação a FTGI, o que significa que a massa ficou mais tolerante ao amassamento. No entanto o aumento da intensidade do tratamento da germinação, bem como concentração, deixou a massa menos resistente, apresentando maiores valores de ITM. Esse enfraquecimento pode ser confirmado pelo parâmetro de estabilidade da massa, que diminuiu com a substituição por farinha trigo germinado, causando um enfraquecimento da rede de glúten.

#### 4.2.5 Características de Panificação

Os efeitos da substituição de FTGI por farinhas trigo germinado nas características dos pães foram avaliados considerando: volume específico, cor, firmeza e mastigabilidade dos pães. O volume específico do pão dependente da expansão da massa durante o processo de fermentação e é influenciada, além da força de glúten, pela atividade enzimática da farinha (CAUVAIN e YOUNG, 2009). A germinação, ao ativar as enzimas amilolíticas, hidrolisa o amido liberando

açúcares. Os açúcares servem de substrato para as leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) responsáveis pela fermentação e podem contribuir para o aumento no volume específico dos pães (BOITA et al., 2016). O volume específico dos pães está associado as características sensoriais de pão, como leveza, maciez, características da crosta e textura do miolo.

A análise de variância representada por (\*) indica que houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre os fatores tempo de germinação e porcentagem de substituição de farinha trigo germinado e entre o controle e com os demais tratamentos. Na Tabela 15 são apresentados os valores médios do volume específico dos pães e seus respectivos desvios padrão bem como o resultado do teste Tukey na comparação entre os tratamentos.

Em geral, a porcentagem de substituição da FTGI por farinha trigo germinado não teve grande influência no volume específico dos pães. Nos tratamentos onde foi utilizada a FM24, os pães tiveram leve diminuição do volume específico. Ao observar a atividade enzimática total e de  $\alpha$ -amilase da FM 24 note-se que, apesar de ambas terem aumentado significativamente, a hidrólise das moléculas de amido não foram suficientes para influenciar nos processos tecnológicos que auxiliam na fermentação. Isso pode ser confirmado pelo NQ, onde a FM24 não diferiu significativamente da FTGI (Tabela 3). Outro fator a ser observado é o aumento significativo da resistência a extensão das massas elaboradas com FM 24 em qualquer nível de substituição. Por ser mais resistente a extensão, pode ter influenciado na diminuição no volume dos pães.

A utilização da FM48-5% e FM72-5% aumentou significativamente o volume específico dos pães, no entanto uma leve redução foi observada quando utilizado maior proporção de farinha. O aumento da atividade amilolítica da FM48 e FM72, bem como diminuição do NQ pode ter auxiliado no aumento do volume específico, sendo essas alterações mais intensas na FM72. Porém, o aumento da porcentagem de substituição influenciou negativamente no volume específico dos pães, acarretando em diminuição do valor quando utilizado FM48-25% e FM72 com 15 e 25% de substituição.

Tabela 15 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no volume específico dos pães.

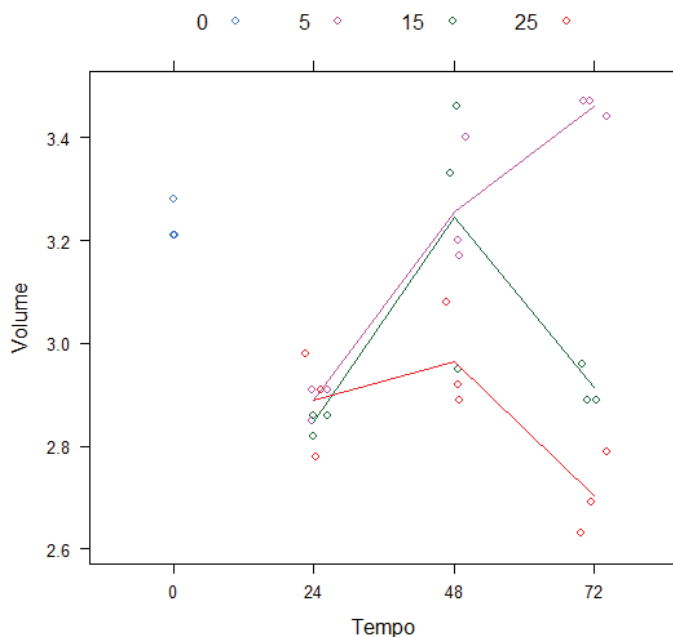
	Tempo	% substituição			
		0	5	15	25
Volume específico mL.g <sup>-1</sup>	0	3,2 ± 0,0*			
	24		2,9 ± 0,0Ba	2,9 ± 0,0Ba	2,9 ± 0,1Ba
	48		3,3 ± 0,1Aa	3,2 ± 0,3Aa	3,0 ± 0,1Ab
	72		3,5 ± 0,0Aa	2,9 ± 0,0Bb	2,7 ± 0,1Bc

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si. Medidas com a mesma letra minúscula na linha não difere entre si. \* indica que existe efeito significativo.

Diferentes efeitos são observados para pães elaborados com farinha refinada. Marti et al. (2017) obteve um aumento ( $p < 0,05$ ) no volume específico dos pães com até 50% de farinha trigo germinado com 72 h de germinação, em relação à amostra controle. Baranzelli (2017) obteve aumento de 10% no volume específico dos pães produzidos com 100% de farinha refinada de trigo germinado em relação ao controle.

A presença de constituintes da camada externa do grão pode ter contribuído para o enfraquecimento da rede de glúten, diminuindo sua capacidade de reter o gás produzido na fermentação e conseqüentemente diminuição do volume dos pães. Sabe-se que as camadas externas do grão presentes na FTGI influenciam nas propriedades de formação da massa, tanto pela diluição do glúten na amostra (GAN et al., 1992 e NOORT et al., 2010), como pelo enfraquecimento da rede de glúten através de mecanismos químicos e físicos (BRESSIANI et al., 2017), o que reduz o volume específico dos pães (Figura 20). A elaboração de pães com farinha trigo germinado pode aumentar a quantidade de substrato disponível para a levedura, o que resulta em pão com maior volume específico. Contudo, alta concentração enzimática pode reduzir a elasticidade da massa, tornando-a pegajosa durante o processamento, além de diminuir o volume e ocasionar coloração escura do pão (BECKER, BARATTO, GELINSKI, 2009; QUEJI, SCHEMIN, TRINDADE, 2006).

Figura 20– Gráfico de dispersão do efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no volume específico dos pães.



Os valores médios e os desvios padrão da cor da crosta e do miolo dos pães estão apresentados na Tabela 16. A incorporação de farinha trigo germinado influencia na cor tanto da crosta quanto do miolo, mas essa influência não segue uma tendência conforme aumenta a intensidade de substituição (Figuras 21 e 22). Como mencionado anteriormente, apenas a FM 72 apresentou valor significativamente menor de luminosidade ( $L^*$ ) em relação a FTGI. Observou-se também uma tendência de tons mais avermelhados e amarelados com o aumento no tempo de germinação, conforme observou-se nas coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ .

Tabela 16 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição na cor da crosta e do miolo dos pães.

	Crosta dos pães			Miolo dos pães		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
FTGI	53,6±0,1	11,9±0,0	25,4±0,2	52,1±0,2	4,3±0,0	16,4±0,1
1	53,3±0,0	13,0±0,2	27,8±0,3	53,5±0,6	5,1±0,1	17,8±0,1
2	54,6±0,0	12,2±0,0	26,6±0,1	51,8±0,3	4,2±0,0	16,3±0,1
3	51,2±0,6	12,5±0,0	25,4±0,1	53,1±0,5	5,0±0,2	17,7±0,1
4	50,7±0,1	13,8±0,0	26,8±0,4	54,6±0,7	4,7±0,1	17,2±0,1
5	55,5±0,0	11,3±0,0	27,8±0,1	56,3±0,1	5,1±0,0	18,1±0,0
6	56,1±0,0	11,2±0,0	26,9±0,0	55,1±0,2	5,3±0,0	18,9±0,0
7	56,6±0,0	10,4±0,0	27,0±0,0	59,1±0,1	5,0±0,0	18,1±0,0
8	53,8±0,3	10,8±0,3	26,0±0,1	53,8±1,8	5,6±0,8	19,1±1,6
9	54,5±0,0	9,5±0,0	25,7±0,0	52,0±0,0	6,1±0,0	19,2±0,0

Os valores de  $L^*$  indicam maior refletância da luz e quanto mais alto o valor, mais claros são os pães. O escurecimento de pães elaborados com farinha trigo germinado é atribuído por diversos autores à presença de maior teor de açúcares redutores e dextrinas que combinados com aminoácidos livres favorecem a ocorrência de Reação de Maillard (LIU et al.; 2016). Esta é uma reação de escurecimento não enzimático, em que os grupos amina de aminoácidos, peptídeos e proteínas reagem com aldeído, resultando na degradação de carboidratos formando pigmentos escuros durante o forneamento (CORNEJO et al., 2015). Marti et. al. (2017) obteve valores de  $L^*$  para a crosta, que variaram de 69,01 (na amostra controle) para 54,68 em pães produzidos com 100% de farinha trigo germinado. No presente estudo não ocorreu tendência de variação de  $L^*$  principalmente para a crosta e, isso pode ter ocorrido pelas condições experimentais e falta de homogeneidade da temperatura de forneamento.

Apesar de não ter havido tendência evidente da variação dos valores de  $L^*$ , pode-se afirmar que a adição de farinha trigo germinado altera os parâmetros, coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , deixando os pães mais avermelhados e amarelados. Maiores valores de  $a^*$  indicam coloração avermelhada, principalmente observada na crosta e geralmente são associados a pães com elevada quantidade de açúcares disponíveis (ESTELLER; LANNES,

2005). Tanto para a crosta como para o miolo, pode-se observar tendência mais nítida a coloração avermelhada quando utilizado a FM 72, seguindo a tendência de cor da farinha.

Valores elevados de  $b^*$  são traduzidos para amostras com forte coloração amarelada, que embora dispersa na coloração castanha de pães formulados com FTGI e produtos forneados, pode aparecer em pães ricos em proteínas, açúcares redutores e carotenoides. (ESTELLER; LANNES, 2005). O aumento da concentração de FM nos tratamentos acarretou em elevação no  $b^*$  da crosta e do miolo dos pães produzindo pães mais amarelados. Algumas variações nos valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  podem estar também relacionadas com o grau de aeração, representados na Figura 24, e mudanças na luz que incide na superfície do material (ESTELLER; LANNES, 2005).

Figura 21 – Gráfico de dispersão dos efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição na cor da crosta dos pães.

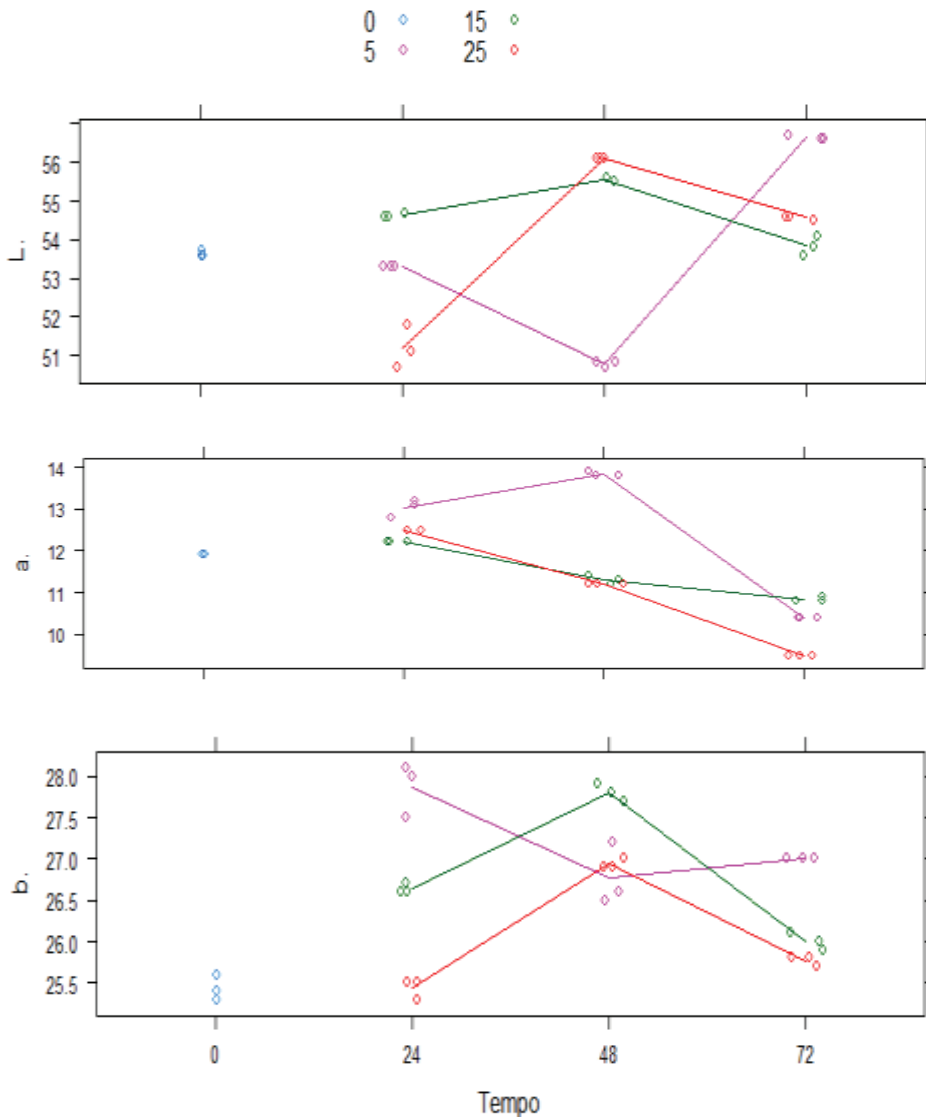
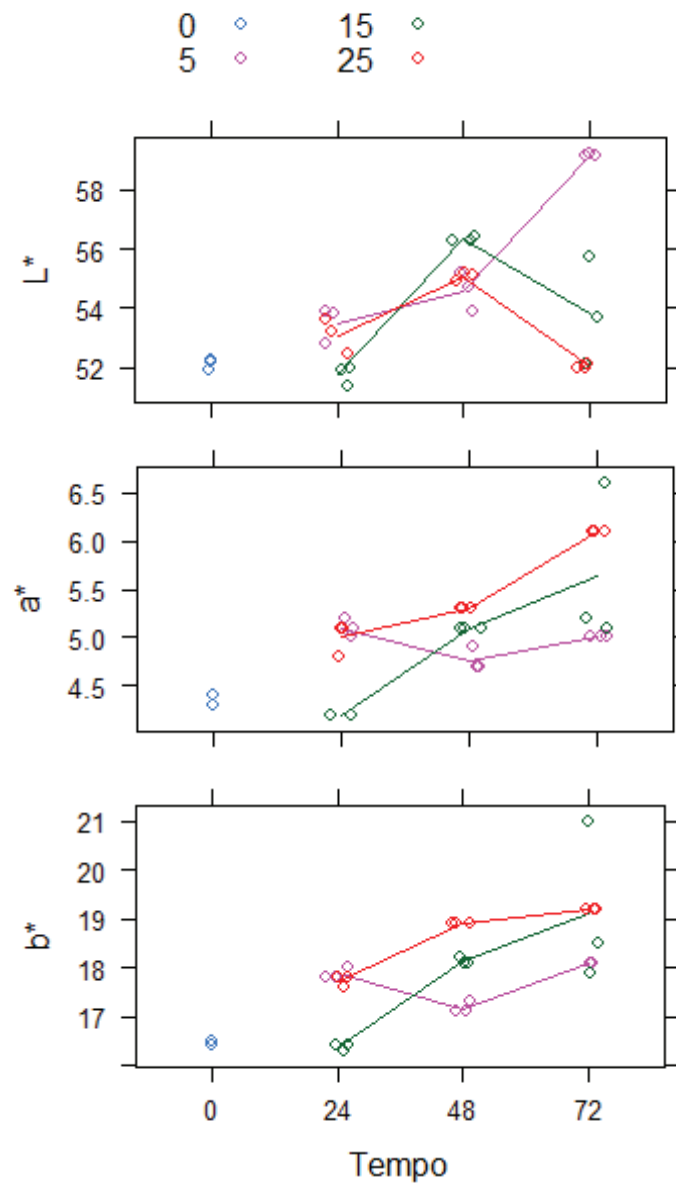




Figura 22 - Gráfico de dispersão dos efeitos das variáveis tempo de germinação e % de substituição na cor do miolo dos pães

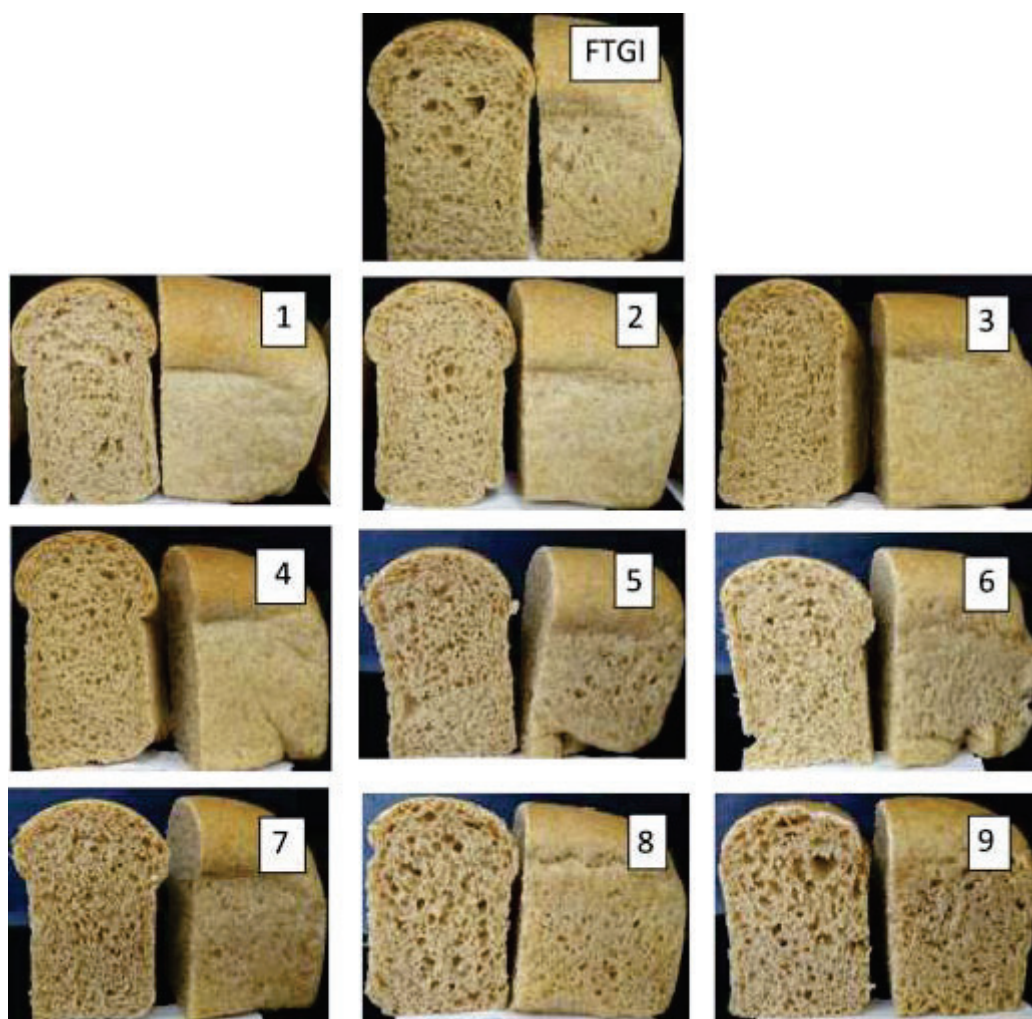


As características visuais dos pães podem ser verificadas na Figura 23. Os pães com altas concentrações de FM72-15 e 25% apresentaram formação alveolar do miolo mais aberta e uma menor quebra em relação as outras amostras. Isso pode ocorrer pois, a alta atividade de  $\alpha$ -amilase hidrolisa o amido gelatinizado durante o forneamento, antes das enzimas serem inativadas termicamente e, altos níveis de dextrinas são produzidos (EVERY; ROSS, 1996). Além do gel de amido ser quebrado pela ação das  $\alpha$ -amilases e água que estava ligada ser liberada ainda, altas concentrações de dextrina no miolo podem competir pela água ligada ao amido gelatinizado, pela formação de ligações de hidrogênio e efeitos osmóticos, formando

uma massa pegajosa (EVERY; ROSS, 1996) o que acarreta amolecimento da massa (CAUVAIN e YOUNG, 2009).

Notou-se também que os tratamentos com FM48-5% e FM72-5% tiveram melhora na formação alveolar, que apresentam tamanhos e distribuição mais homogêneos. Isso evidenciou o efeito positivo da utilização de farinha trigo germinado no desenvolvimento e nas características tecnológicas dos pães

Figura 23 – Imagens dos pães produzidos com as farinhas dos tratamentos.



A análise de textura foi utilizada para determinar a qualidade tecnológica dos pães à fim complementar o estudo das propriedades tecnológicas de panificação. A análise de variância representada por (\*) indicou que houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre os fatores tempo de germinação e porcentagem de substituição de farinha trigo germinado e entre o controle com os demais tratamentos. Os resultados estão apresentados na Tabela 17 com os

valores médios da firmeza e mastigabilidade dos pães e seus respectivos desvios padrão bem como o resultado do teste Tukey na comparação entre os tratamentos.

A firmeza e a mastigabilidade são atributos de qualidade importantes e estão diretamente associados a aceitabilidade dos pães pelos consumidores. A firmeza é decorrente, além da gelatinização do amido, em que grânulos de amido entumecidos podem ser alongados permitindo que as células de gás se expandam (PASRIJA et al., 2015), também pela formação de ligações cruzadas entre o amido parcialmente solubilizado e as proteínas do glúten (BARANZELLI, 2017). A mastigabilidade é a energia necessária para deformar um produto sólido para deglutição (PASRIJA et al., 2015).

Tabela 17 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no perfil de textura dos pães.

		% substituição			
		0	5	15	25
Firmeza (g)	0	350,8 ± 7,6ns			
	24		336,7±9,9Ba	304,5 ±1,0Ba	328,6±18,6Ba
	48		246,6±7,0Cc	315,8 ±26,3Bb	375,2±9,69Aa
	72		485,3±2,3Aa	486,3 ±7,5Aa	405,6±4,9Ab
	0	271,7 ± 9,5*			
Mastigabilidade (g)	24		273,3±1,2Aa	240,0±1,1Ba	260,6±9,1Ba
	48		191,8±8,5Bb	248,7±29,6Ba	231,0±17,1Ba
	72		284,1±0,1Ab	334,2±0,1Aa	291,1±0,1Ab

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si. Medidas com a mesma letra minúscula na linha não difere entre si. \* indica que existe efeito significativo.

Os pães significativamente mais firmes foram os elaborados com FM72 em todos as proporções e FM48-25%. No entanto uma diminuição na firmeza foi relatado nas demais amostras, quando comparadas com a amostra controle. A mastigabilidade seguiu a mesma tendência, logo pode-se dizer que maiores valores obtidos para firmeza dos pães significam que é necessário aplicar maior força para comprimir o pão na mastigação. Além disso, os pães que apresentaram maior firmeza, também apresentaram menor elasticidade, pois sofrem os efeitos da germinação na formação da rede de glúten.

Em estudos conduzidos por Sanz-Penella et al. (2012), foi relatado que a firmeza dos pães também foi alterada pela adição de  $\alpha$ -amilase e farelo de trigo. Os autores observaram que

ao adicionar a enzima combinada com 10% de fibras, a firmeza dos pães diminuiu, mas ao aumentar a quantidade de farelo na amostra, a firmeza aumentou.

Em relação a textura para pães com farinha refinada, Baranzelli (2018) concluiu que os pães com 100% de farinha trigo germinado ficaram mais firmes conforme aumentou o tempo de germinação. Diferentes efeitos foram observados Marti et al. (2017) obteve menor firmeza dos pães produzidos com 100% de farinha germinada em relação ao controle.

Através do estudo das características tecnológicas dos pães, pode-se concluir que a farinha trigo germinado com alta atividade enzimática pode auxiliar nas propriedades tecnológicas dos pães produzidos com farinha de trigo de grão inteiro, se utilizados em baixos níveis de substituição. Nesse caso os pães podem apresentar maior volume específico e melhor formação alveolar. Para esse estudo ocorreu aumento significativo na firmeza e na mastigabilidade quando adicionada FM 72, mesmo em baixos níveis de substituição.

#### **4.2.6 Textura dos pães ao longo de sete dias**

A Tabela 18 apresenta os valores de firmeza dos pães nos dias 0, 4 e 7 para todos os tratamentos. De maneira geral, ocorreu aumento significativo na firmeza dos pães com o aumento dos dias de armazenamento para todos os tratamentos e para o controle. Após 4 dias de armazenamento ocorreu aumento médio de 214% no valor de dureza em relação ao dia 0, para todos os tratamentos. O aumento da firmeza foi menos pronunciado após 7 dias de armazenamento, apresentando 13% de aumento em comparação com o 4º dia, com um total de 257%, em comparação ao tempo 0. Assim a maior mudança ocorreu nos primeiros dias de estocagem.

A utilização de FM24 em todos os níveis e FM48-5%, apresentaram as maiores intensidades de firmeza, 340 e 477% de aumento nos dias 4 e 7, respectivamente, em relação ao dia 0. Os pães produzidos com FM48-15 e 25% tiveram menor variação no valor da firmeza em relação aos outros tratamentos. Um dos fatores responsáveis pelo aumento da firmeza de pães ao longo do armazenamento é a retrogradação do amido (ALTAMIRANO-FORTOUL E ROSELL, 2011), assim a redução da tendência a retrogradação das amostras FM48 (Tabela 6) pode ter contribuído para a manutenção da firmeza dessas amostras ao longo do armazenamento. O envelhecimento do pão é um processo que depende do tempo e se origina de vários eventos físico-químicos simultâneos, principalmente a retrogradação do amido, que resulta no endurecimento do miolo, aumento na força de compressão, amolecimento da crosta e perda do sabor fresco característico do produto (CURTI et al.; 2010). Assim a menor

retrogradação das amostras (Tabela 10) pode ter proporcionado a manutenção da firmeza desses pães, permitindo a menor firmeza ao longo do armazenamento.

Isso pode sugerir que apesar da farinha trigo germinado não melhorar a maciez e mastigabilidade dos pães pode retardá-la ao longo da estocagem. Porém com o aumento da intensidade da germinação e a concentração da FM72, ocorreu aumento da firmeza e da mastigabilidade ao longo do período de armazenamento avaliado, sendo similar a amostra controle. Desta forma, a melhoria das características de qualidade dos pães de FTGI com adição de farinha trigo germinado depende da intensidade da germinação, bem como quantidade de FM utilizada.

Para a produção de pães com farinha refinada, resultados diferentes foram encontrados. Alguns estudos demonstram que a produção de enzimas hidrolíticas durante a germinação é responsável pela melhora da maciez do pão até 6 dias de estocagem (GOESAERT et al., 2005). Marti et al (2017) mostrou que a adição de 50% de farinha trigo germinado após 3 dias de estocagem, obteve o mesmo valor de dureza que o controle após 1 dia de estocagem. Os autores relataram que a  $\alpha$ -amilase diminui a retrogradação da amilopectina e a taxa de firmeza do miolo dos pães com farinha de trigo refinada. Valores médios do tratamento durante 7 dias de estocagem para a variável firmeza (g).

Tabela 18 - Valores médios do tratamento durante 7 dias de estocagem para a variável firmeza (g).

Tempo / % de substituição	Tempo de prateleira		
	0	4	7
0	350,8±7,6nsY	1170,5±57,3nsX	1249,4±39,7ns X
24 h			
5	336,7±9,9 BaZ	1040,0±38,4 BbY	1461,9±50,5 AaX
15	304,5±1,0BaY	1147,8±9,3 AaX	1204,1±17,5 AbX
25	328,6± 18,6AaZ	1134,5±54,1 BabY	1373,9±19,7 AaX
48 h			
5	246,6±7,5 CaZ	1085,5±86,0 BaY	1423,8±21,8 AaX
15	315,8±26,3 BaY	821,6±18,0 BbX	853,1±34,3 BcX
25	375,2±9,7 AaZ	909,0±13,4 CbY	1020,7±7,9 BbX
72 h			
5	485,3±2,3 AaZ	1283,7±9,5AaX	1179,1±14,9 BbY
15	486,3±7,5 AaZ	1166,7±44,8 AcY	1271,5±34,3 AbX
25	405,6±4,9 AaY	1341,6±22,1 AaX	1388,7±22,7 AaX

Medidas de firmeza com a mesma letra maiúsculas na coluna (A,B ou C), dentro do mesmo nível do fator adição, não diferem entre si quanto ao Fator Tempo. Medidas com a mesma letra minúscula na coluna, dentro do mesmo nível do fator tempo, não diferem entre si quanto ao Fator Add. Medidas com a mesma letra maiúscula na coluna (X, Y ou Z), entre linhas, não se diferem entre si, segundo o fator tempo de prateleira. ns significa que não existe efeito significativo entre o tratamento adicional e a combinação dos fatores tempo e adição. \* existe efeito significativo.

A Figura 24 mostra que aos 4 e 7 dias de estocagem, os pães que possuem FM 48 em sua composição confirmam o relato anterior, no qual as amostras apresentaram menor impacto sobre a firmeza do miolo. A mastigabilidade seguiu a mesma tendência, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 24 – Gráfico de dispersão dos efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição da variável firmeza durante 7 dias de armazenamento dos pães

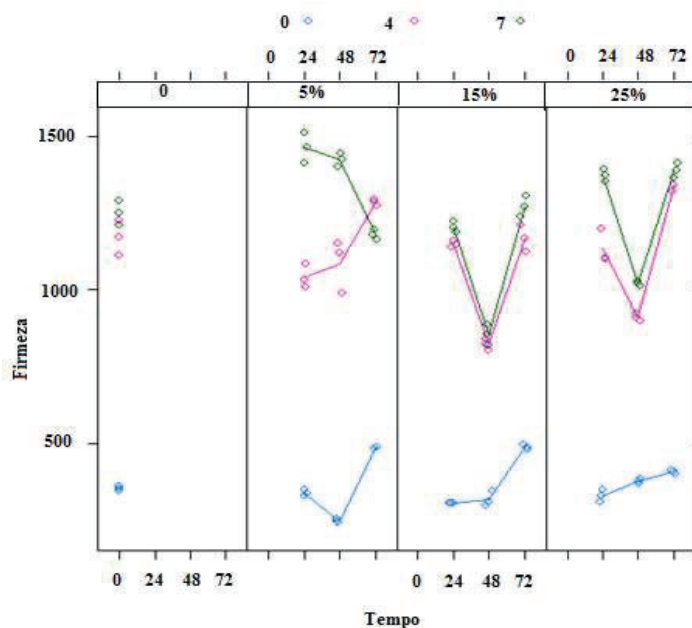
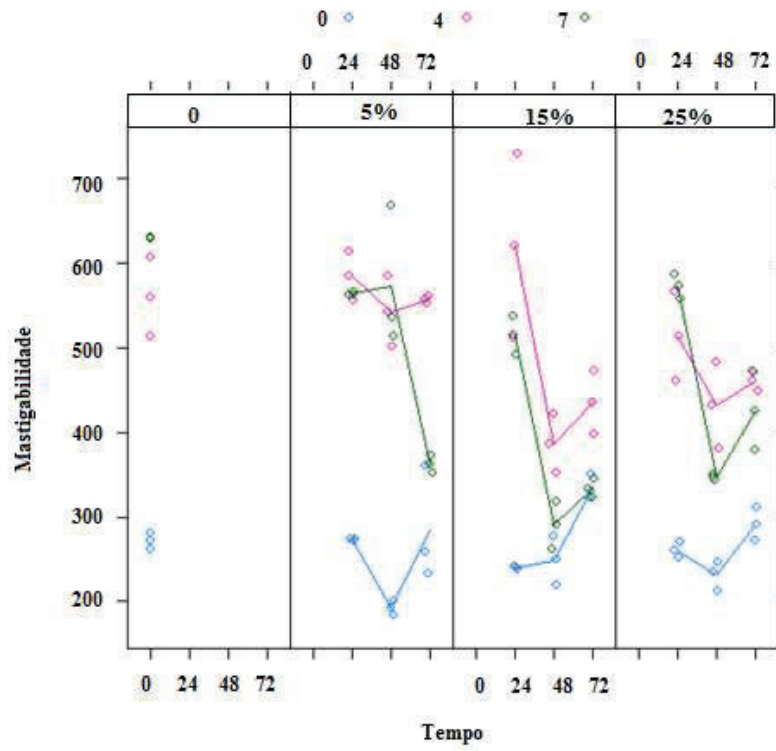


Tabela 19 - Valores médios do tratamento durante 7 dias de estocagem para a variável mastigabilidade

Tempo / % de substituição	Tempo de prateleira		
	0	4	7
0	271,7±9,5*Y	559,5±46,9*X	629,2±1,5*X
24 h			
5	273,3±1,2 AaY	583,8±28,6 AaX	563,6± 2,1AaX
15	240,0±1,1 AaY	620,1±108,9 AaX	513,9±23,6 AaX
25	260,6±9,1 AaY	512,9±53,0 AaX	571,7±14,1 AaX
48 h			
5	191,8±8,5 AaY	542,2±41,7 AaX	571,8±82,8 AaX
15	248,8±29,6 AaY	386,5±34,1 BbX	290,0± 28,3BbXY
25	231,0±17,1 AaY	431,3±50,4 AabX	347,0±3,9 BbXY
72 h			
5	284,1±66,9 AaY	556,4±60,4 AaX	362,6±10,2 BaY
15	334,2±14,3 AaX	434,5±61,24 BbX	333,7±11,5 BaX
25	291,1±19,2 AaY	460,8±61,8 AabX	424,2±45,5 BaX

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna (A,B ou C), dentro do mesmo nível do fator adição, não difere m entre si quanto ao Fator Tempo. Medidas com a mesma letra minúscula na coluna, dentro do mesmo nível do fator tempo, não difere entre si quanto ao Fator Add. Medidas com a mesma letra maiúscula na coluna (X, Y ou Z), entre linhas, não se diferem segundo o fator tempo de prateleira. \*significa que existe efeito significativo entre o tratamento adicional e a combinação dos fatores tempo e add.

Figura 25 - Gráfico de dispersão dos efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição da variável mastigabilidade durante 7 dias de armazenamento dos pães







## 5 CONCLUSÃO

A germinação do trigo causou ativação das enzimas amilolíticas na farinha de trigo de grão inteiro e foi mais intensa conforme aumentou os dias de germinação. A massa de mil grãos e o peso do hectolitro dos grãos diminuíram significativamente com o aumento do tempo de germinação. A distribuição granulométrica das farinhas não foi afetada pela germinação. O número de queda das farinhas trigo germinado diminuiu significativamente a partir das 48 h de germinação, em relação ao controle, o que afetou a viscosidade dos géis, que tornaram-se significativamente menos viscosos. A tendência a retrogradação diminuiu a partir das 48 h de germinação. O teor de amido diminuiu significativamente nas farinhas trigo germinado, desde as primeiras 24 h de germinação, em relação ao controle. As proteínas, fibras e as cinzas permaneceram as mesmas, mas aumentaram proporcionalmente ao peso total do grão. O teor de amido danificado não mudou significativamente em relação ao controle e a cor da farinha tornou-se mais escura, mais amarelada e avermelhada à medida que aumentou o tempo de germinação.

A maltagem afetou às propriedades reológicas das farinhas trigo germinado, o que acarretou em diminuição significativa da absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade da massa e aumento do índice de tolerância à mistura em relação ao controle. O teor de compostos fenólicos das farinhas trigo germinado não mudou significativamente em relação ao controle, mas houve um aumento significativo na atividade antioxidante das farinhas a partir das primeiras 24 h de germinação. Isso é um indicativo de que a atividade antioxidante pode ser atribuída a outros compostos, como as albuminas e glubulinas e não exclusivamente aos compostos fenólicos. Os espectros de ATR-FTIR do controle e das farinhas trigo germinados indica que não foram formados novos grupos funcionais durante a maltagem.

Quando aplicado o fatorial para investigar as alterações causadas pela substituição das farinhas trigo germinado nas propriedades tecnológicas da FTGI, observou-se que as farinhas dos tratamentos permaneceram com número de queda adequando para a fabricação de pães, em todos os tratamentos, com exceção da substituição mais intensa. Ocorreu uma diminuição na viscosidade dos géis quando utilizadas as farinhas com 48 h de germinação ou mais. Por outro lado, as mesmas amostras apresentaram menor tendência a retrogradação.

Na panificação, a maltagem pareceu ter efeito benéfico quando utilizadas farinhas com de 48 h de germinação em substituições de até 15% e com 72 h até 5% pois, favoreceram para o aumento do volume dos pães e formação alveolar mais homogênea. Observou-se que as

massas se tornaram mais resistentes a extensão quando produzida com farinha trigo germinado com 24 h de germinação, o que acarretou em leve diminuição no volume dos pães. As substituições mais intensas, diminuíram a resistência da massa, o que causou diminuição no volume dos pães e formação de alvéolos muito abertos e irregulares.

Os pães ficaram mais macios com a utilização de FM 24 e FM 48 até 15% de substituição, que foi verificado pelos parâmetros de firmeza e mastigabilidade. Apesar de ter auxiliado no aumento do volume dos pães, a adição de FM 72 aumentou significativamente os parâmetros de firmeza e mastigabilidade. Ocorreu um aumento significativo na firmeza dos pães com o aumento dos dias de armazenamento para todos os tratamentos, sendo que até o quarto dia ocorreram as maiores mudanças. Os pães que possuem FM 48 em sua composição apresentaram menor impacto sobre a firmeza do miolo e mastigabilidade.

Ao analisar o estudo de forma global, foi possível concluir que as alterações provocadas pela germinação estão diretamente associadas à atividade enzimática e que a adição de trigo germinado pode influenciar positivamente nas características dos pães de forma, se utilizado nas proporções adequadas.

## 6 REFERÊNCIAS

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

AACC International. **Definition of whole grain**. Disponível em: <https://goo.gl/sEhqcp> 2013, Acesso em: 24/10/2017.

ABIMAPI, 2018. **Estatísticas**. Disponível em: <https://goo.gl/prhDmu> Acesso em: 10/05/2018.

ABITRIGO, 2017. **Suprimento e uso de trigo em grão no Brasil**. Disponível em: <https://goo.gl/5hYF3g>. Acesso em 02/11/2017.

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

AL-HOOTI, N.; SIDHU, J. S. AL-SAQER, J. M.; AL-OTHMAN, A. Effect of raw wheat germ addition on the physical texture and objective color of a designer food (pan bread). **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 56 (2), p. 68-72. 2002.

ALTAMIRANO-FORTOUL, R.; ROSELL, C.M. Physico-chemical changes in breads from bake off technologies during storage. *LWT – Food Science and Technology*, v. 44, p. 631-636. 2011.

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

ANJUM, F.M.; KHAN, M.R.; DIN, A.; SAEED, M.; PASHA, I.; ARSHAD, A.U. Wheat gluten: High molecular weight glutenin subunits-structure, genetics, and relation to dough elasticity. **Journal of Food Science**. v. 72, p. 56–63. 2007.

ANVISA, 2017 **Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão**. Disponível em: <https://goo.gl/w9viLC> Acesso em 10/10/2017:

AQUINO de, V. C. **Estudo da estrutura da massa de pães elaborados a partir de diferentes processos fermentativos**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Universidade de São Paulo. 2012.

ARMSTRONG, H.; McDONALD, M.B. Effects of osmoconditioning on water uptake and electrical conductivity in soybeans seeds. **Seed Science and Technology**, v.20, p.391-400. 1992.

ATWELL, W. A. **Wheat flour**. St. Paul, Minn. Eagan Press, p., 134. 2001.

BADSHAH, A.; ZEB, A.; SATTAR, A.; Effect of soaking, germination and autoclaving on selected nutrients of rapeseed. **Pakistan J. Sci. Ind. Res.**, v. 34, p. 446-448. 1991.

BARAK, S.;MUDGIL, D.;KHATKAR, B.S. Biochemical and functional properties of wheat gliadins: a review. **Food Science Nutrition**, v. 55(3) p. 357-68. 2015.

BARANZELLI, J. **Germinação pré-colheita e induzida de trigo: atividade enzimática, propriedades físico-químicas, reológicas, de panificação e teor de ácido  $\gamma$ -aminobutírico**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos. Universidade Federal de Pelotas. 2017.

BECKERT, O. P.; MIGUEL, M. H.; MARCOS FILHO J. Absorção de água e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Scientia Agricola**, v.57, (4), p.671-675. 2000.

BECKER, N. B.; BARATTO, C. M.; GELINSKI, J. M. L. N. Propriedades das enzimas  $\alpha$ -amilase e xilanase comerciais e sua influência na reologia da massa e na qualidade do pão de forma. **Evidência, Joaçaba**, v.9 n.1-2, p. 67-82, 2009.

BENJAKUL, S.; KARNJANAPRATUM, S. Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker fortified with tuna bone bio-calcium powder. **Food Chemistry**, v.259, p. 181-187. 2018.

BENZIE, I Evolution of dietary antioxidants. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 136 (1), p.113–126. 2003.

BERNI, P. R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Efeito da germinação e da sanitização sobre a composição centesimal, teor de fibras alimentares, fitato, taninos e disponibilidade de minerais em trigo. **Alim. Nutr., Araraquara**, v. 22 (3), p. 407-420. 2011.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 445p. 1994.

BLANCO, A.; BRESSANI, R. Biodisponibilidad de aminoácidos in el frijol (*Phaseolus vulgaris*). **Archivos Latinoamericano de Nutrición**, v. 41, (1), p. 38-51. 1991.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v.37, p. 911-917. 1959.

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 of Cereal Science**, v. 71, p. 177-182, 2016.

BOTH J. **Influência do farelo na formação de massa com adição de xilanase**. Dissertação de mestrado. Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. **Regulamento técnico do trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1 dez. 2010. Seção 1, n. 29, p. 2. 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996. **Norma Técnica referente a Farinha de Trigo**. Disponível em <https://goo.gl/ZvsZHT> acesso em 02/11/2017. 1996.

BRESSIANI, J. **Qualidade da farinha de trigo de grão inteiro em resposta a influência de diferentes tamanhos de partículas**. Dissertação de mestrado. Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo. 2016.

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.

BRIGGS, D.E. Malt Modification – A century of Envolving Views. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 108, (4), p. 395 – 405. 2002.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Semente: ciência, tecnologia e produção**. 3ed. Campinas, Fundação Cargil. 424p. 1988.

CARVALHO, P. T. **Trigo com germinação pré-colheita na produção de malte**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina. 2015.

CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Tecnologia da panificação**. 2º ed. Barueri: Manole, 440p. 2009.

CAVAZOS, A.; de MEJIA, E. G. Identification of bioactive peptides from cereal storage proteins and their potential role in prevention of chronic diseases. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, p. 364. 2013.

CHUNG T.Y.; NWOKOLO, E. N.; SIM, J. S. Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. **Plant Foods Hum. Nutr**, v. 39 (3), p. 101-111. 1998.

CODINĂ, G. G.; LEAHU, A. The improvement of the quality of wheat flour with a lower content of  $\alpha$ -amylase through the addition of different enzymatic products. **Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară Iași, seria Agronomie**, v. 52, p. 629-635, 2009.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 6 - safra 2018/19- n. 4 - Quarto levantamento de Janeiro 2019.

COPELAND, L.O.; MCDONALD, M.B. **Principle of seed science and technology**. New York: Chapman & Hall, 409p. 1995.

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

CORDER, A. M.; HENRY, R. J. Carbohydrate-Degrading Enzymes in Germinating Wheat. **Cereal Chemistry**, v. 66 (5), p. 435-439. 1989.

CORNEJO, F., ROSELL, C. M. Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. *LWT. Food Science and Technology*. v. 62, p. 1203-1210. 2015

CUNHA, A.F. **Análise do perfil de compostos fenólicos e da atividade antioxidante em sementes de trigo *triticum eastivum l.* e de cevada *hordeum vulgare* em diferentes estágios de germinação.** Dissertação de mestrado. Departamento de Nutrição e Alimentos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. 2014.

CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F.; PAZINATO, A. **Introdução ao problema da germinação na pré colheita em trigo no Brasil.** Passo Fundo: Embrapa, p.11-20. 2004.

DANISOVÁ, C.; HOLOTNÁKOVÁ, E.; HAZOVÉ, B. Effect of germination on a range of nutrients of selected grains and legumes. *Acta Alimentaria*, v.23 (3), p. 287-298. 1994.

DAVIDOVIĆ, D. N.; DODIĆ, S. N.; MASTILOVIĆ, J. S.; DODIĆ, J. M.; POPOV, S. D.; LAZIĆ, M. L. The application of natural organic compounds in bakery industry. *Hem. Ind*, v. 64 (5) p. 411–421. 2010.

DELCOUR, J. A.; HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology.** ed. 3. St. Paul, Minnessota (EUA): AACC, v 3, p. 280. 2010.

DELCOUR, J. A.; BRUNEEL, C.; DERDE, L. J.; GOMAND, S. V.; PAREYT B. Fate of starch in food processing: from raw materials to final food products. *Food Science and Technology*, v. 1, p. 87–111. 2010.

DEMIRKESEN, I; CAMPANELLA, O.H; SUMNU, G; SAHIN, S; HAMAKER, B.R. A study on staling characteristics of gluten-free breads prepared with chestnut and rice flours. *Food Bioprocess Technology*, p.806-820, 2013.

DINGA, J.; HOUB, G. G.; NEMZERC, B. V.; XIONGD S.; DUBATE, A.; FENG, H. Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced  $\gamma$ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication. *Food Chemistry*, v. 243 p. 214–221. 2018.

DUBAT, A. A Modified Protocol for Producing Whole-Wheat Flour From A Standard CHOPIN CD1 Laboratory Mill. In: **AACCI Centennial Meeting**, October 18-21, Minissota, EUA, *Abstract AACCI Centennial Meeting Program Book*, 2015. 138 p.

DZIKI, D.; GAWLIK-DZIKI, U.; KORDOWSKA-WIATER M.; DOMAN-PYTKA, M. Influence of Elicitation and Germination Conditions on Biological Activity of Wheat Sprouts. *Journal of Chemistry*, article ID 649709, 8 page. 2015.

ESTELLER, M.S.; LANNES, S.C.S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, p. 802-806, 2005.

EVERY, D.; ROSS, M. The role of dextrans in the stickiness of bread crumb made from pre-harvest sprouted wheat or flour containing exogenous alpha-amylase. **Journal of Cereal Science**, v 23, p. 247–256. 1996.

FALTERMAIER, A.; ZARNKOW, M.; · BECKER, T.; · GASTL, M.; ARENDT, E. K. Common wheat (*Triticum aestivum* L.): evaluating microstructural changes during the malting process by using confocal laser scanning microscopy and scanning electron microscopy. **Eur Food Res Technol**, v. 241, p. 239-252. 2015.

FAO. Food and agriculture data. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em 06/05/2018. 2018.

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.

FARIAS, A.R.; MINGOTI, R. Há potencial para a autossuficiência. **Revista a Granja**. n. 821 p. 50-53. 2017.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 4. edição. Artmed. 2010.

FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A.J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho e soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.23, n.2, p. 234-239, 2003.

FERREIRA, Daniela Souza. Aplicação De Espectroscopia No Infravermelho E Análise Multivariada Para Previsão De Parâmetros De Qualidade Em Soja E Quinoa. 2013. 145 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

GAINES, C. S. Collaborative study of methods for solvent retention capacity profiles (AACC Methods 56-11). **Cereal Foods World**, vol. 45, p. 303-306. 2000.

GAN, Z.; GALLIARD, T.; ELLIS, P. R.; ANGOLD, R. E.; VAUGHAN, J. G. Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread. **Journal of Cereal Science**, v. 15, n. 2, p. 151-163, 1992.

GAWLIK-DZIKI, U.; DZIKI, D.; NOWAK, R.; SWIECA, M.; OLECH, M.; PIETRZAK, W. Influence of sprouting and elicitation on phenolic acids profile and antioxidant activity of wheat seedlings. **Journal of Cereal Science**, v. 70, p. 221-228. 2016.

GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C. M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16(1-3), p. 12-30. 2005.

HAJNAL, E.J.; TOMIC, J.; TORBICA, A.; RAKITA, S.; POJIC, M.; ZIVANCEV, D.; HADNADEV, T.D. Content of free amino groups during postharvest wheat and flour maturation in relation to gluten quality. **Food Chemistry**, v. 164, p. 158–165. 2014.

HEALTHGRAIN Forum. **The benefits of whole grain**. Disponível em: <https://goo.gl/JTrd52>. Acesso 02/11/2017. 2012.

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. 2015.

HORST, M. A.; LAJOLO, F. M. Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos. 2011. Disponível em: <[www.fcf.usp.br](http://www.fcf.usp.br)>. Acesso em: 02 fev. 2019.

HOSNEY, R.C. **Principles of cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 327p. 1986.

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

HUANG, M.; KENNEDY, J.F.; LI, B.; XU, X.; XIE, B.J. Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: a texture profile analysis study. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, n. 3, p. 411-418, 2007.

HUNG P. V.; MAEDA T.; YAMAMOTO,S.; MORITA, N. Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. **Journal Science Food Agriculture**, v. 92, p. 667-672. 2011.

HUNG, P. V.; HATCHER, D. W.; BARKER, W. Phenolic acid of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. **Food Chemistry**, v. 126, p. 1896-1901. 2011.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola – LSPA. **Prognóstico da Produção Agrícola Nacional, dos principais produtos, para safra 2018**. Disponível em: <https://goo.gl/RNG74U>. Acesso: 06/05/2018. 2018

ICHINOSE, Y.; TAKATA, K.; KUWABARA, T.; IRIKI, N.; ABIKO, T.; YAMAUCHI, H. Effects of increase in  $\alpha$ -amylase and endo-protease activities during germination on the breadmaking quality of wheat. **Food Science and Technology Research**, v. 7, p. 214–219. 2001.

ISAKSSON, H.; TILLANDER, I.; ANDERSSON, R.; OLSSON, Johan.; FREDRIKSSON, H.; WEBB, D-L.; ÅMAN, P. Whole grain rye breakfast — Sustained satiety during three weeks of regular consumption **Physiology & Behavior** v. 105 p. 877–884. 2012.

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



JIN, Y.H.; DU, J.H.; ZHANG, K.L.; ZHANG, X.C. Effects of wheat starch contents on malt qualities **Journal of Institute of Brewing**, v. 117 (4), p. 534–540. 2011.

JOHNSEN, N. F.; FREDERIKSEN, K.; CHRISTENSEN, J.; SKEIE, G; LUND, E.; LANDBERG, R.; JOHANSSON, I.; NILSSON, L. M.; HALKAER, J.; OLSEN A.; OVERVAD, K.; TJONNELAND, A. Whole-grain products and whole-grain types are associated with lower all-cause and cause-specific mortality in the Scandinavian HELGA cohort. **British Journal of Nutrition**, v. 114, p 608–623. 2015.

KAMP, van der J. W.; POUTANEN, K.; SEAL, C. J.; RICHARDSON, D. P. The HEALTHGRAIN definition of ‘whole grain’. **Food & Nutrition Research**, v. 58, 22100. 2014.

KARIM, A. A. et al. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (Metroxylon sago) starch. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 6, p. 1044–1053. 2008.

KITAMURA, S.; YUNOKAWA, H.; MITSUIE, S.; KUGE, T. Study on polysaccharide by the fluorescence method. II. Micro-Brownian motion and conformational change of amylose in aqueous solution. **Polymer Journal**, vol. 14, p. 93-99. 1982.

KOHYAMA, K.; MATSUKIA, J.; YASUIB, T.; SASAKIA, T. A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.71- 77, 2004.

KOCH, H-J.; PRINGAS, C.; MAERLAENDER, B. Evaluation of environmental and management effects on Fusarium head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 24 (2), p. 357-366. 2006.

KADDOUR, A.A.; MONDET, M.; CUQ, B. Description of chemical changes implied during bread dough mixing by FT-ATR mid-infrared spectroscopy. **Cereal Chemistry**, v. 85 p. 673-678. 2008.

KERPES, R.; KNORR, V.; PROCOPIO, S.; KOEHLER, P.; BECKER, T. Gluten-specific peptidase activity of barley as affected by germination and its impact on gluten degradation. **Journal of Cereal Science**, v. 68, p. 93–99, 2016.

LEMAR, L. E.; SWANSON, B. G. Nutritive value of sprouted wheat flour. **Journal of Food Science**, v. 41 (3), p. 719-720. 1976.

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

LEON, E. PISTONA F, PETER, R. A. 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, W.; DOBRASZCZYK, B.J.; DIAS, A.; GIL, A.M. Polymer conformation structure of wheat proteins and gluten subfractions revealed by ATR-FTIR. **Cereal Chemistry**, v 83, p. 407-410. 2006.

LIMA, A. **Caracterização Química, Avaliação da Atividade Antioxidante In Vitro e In Vivo e Identificação dos Compostos Fenólicos Presentes no Pequi (Caryocar Brasiliense Camb.)**. 186 f. 2008.

LIU, T.; HOU, G. G.; CARDIN, M.; MARQUART, L.; DUBAT, A. Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. **Food Science and Technology**, v.77 p. 1-7. 2016.

MADEIRA, R.A.V. **Caracterização tecnológica de linhagens de trigo desenvolvidas para o serrado mineiro**. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em ciência de alimentos, Universidade Federal de Lavras-MG. 2014.

MAKINEN, O. E.; ARENT, E. K. Oat malt as baking ingredient – A comparative study of the impact of oat, barley and wheat malts on bread and dough properties. **Journal of Cereal Science**, v. 56, p. 747-753. 2012.

MANDARINO, J.M.G. **Aspectos importantes para a qualidade do Trigo**. Londrina: Embrapa – CNPS, 32p. 1993.

MARCOS FILHO, J. **Produção de sementes de soja**. Campinas: Fundação Cargill, 86 p. 1986.

MARES, D.; MRVA, K. Late-maturity  $\alpha$ -amylase: low falling number in wheat in the absence of pre harvest sprouting. **Journal of Cereal Science**, v. 47, p. 6-17. 2008.

MARTI, A.; CARDONE, G.; PAGANI, M. A.; CASIRAGHI, M. C. Flour from sprouted wheat as a new ingredient in bread-making. **LWT - Food Science and Technology**. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.10.052. 2017.

MAYER, A. M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. 2. ed. Oxford: Pergamon Press Ltda. 192p. 1975.

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

MICHELA, P.; LORENZ, K. The vitamins of triticale, wheat and rye. **Cereal Chemistry**, v.53 (6), p. 853-861. 1976.

MITTELMANN, A.; NETO, J.F.B.; CARVALHO, F.I.F.; LEMOS, M.C.I.; CONCEIÇÃO, L.D.H. Herança de caracteres do trigo relacionados à qualidade de panificação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 5, p. 975-983, 2000.

MIRANDA, M. Z.; EL-DASH, A. Farinha integral trigo germinado: 3. Características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimento**, v. 22 (3), p. 216-223. 2002.

MIRANDA, M.Z. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral**. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 216p. 1998.

MONDAL, A.; DATTA, A.K. Bread baking—a review. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 465-474. 2008.

MORAD, M. M. E; RUBENTHALER, G. L. Germination of soft White wheat and its effect on flour fractions, breadbaking, and crumb firmness. **Cereal Chemistry**, v. 60, p.413-417. 1983.

NARZISS, L., BACK, W. D. **Technologie der Malzbereitung**. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 2009.

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

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.

ORO, T.; LIMBERGER, V. M.; MIRANDA, M. Z.; RICHARDS, N. S. P. S; GUTKOSKI, L. C.; FRANCISCO, A. Pasting properties of whole and refined wheat flour blends used for bread production. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.4, p.754-760, 2013.

PASRIJA, D.; EZHILARASI, P.N.; INDRANI, D.; ANANDHARAMAKRISHNAN C. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, v.64, p. 289-296. 2015.

PAVIA, D.L.; LAMPMAN, G.M.; KRIS, G.S. **Introduction to Spectroscopy**. 2<sup>o</sup> Edição, Saunders Golden Sunburst Series, Orlando. 1996.

PAYNE, P.I.; JACKSON, E.A.; HOLT, L.M.; LAW, C.N. Genetic linkage between endosperm protein genes on each of the short arms of chromosomes 1A and 1B in wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v.67, p.235-243. 1984.

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

PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes e parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 72p. 1997.

POMERANZ, Y. **Wheat: Chemistry and Technology**. AACC, St. Paul. 1988.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985, 289p.

PRÜCKLER, M.; SIEBENHANDL-EHN, S.; APPRICH, S.; HÖLTINGER, S.; HAAS, C.; SCHMID, E.; KNEIFEL, W. Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat

bran and strategies of functionalization. *LWT - Food Science and Technology*, v.56 p.211e221. 2013.

PYLER, E.J. **Baking Science and Technology**. Merriam, KS, USA Sosland Publishing. 1988.

QUAGLIA, G. **Ciencia y Tecnología de la Panificación**. Zaragoza: Acribia. 1991.

QUEJI, M. F. D.; SHEMIN, M. H. C.; TRINDADE, J. L. F. Propriedades reológicas da massa de farinha de trigo adicionada de alfa-amilase. Publ. **UEPG Ciências Exatas Terra, Ciências Agrícola Engenharia**, Ponta Grossa, v.12, p. 2047-2053, 2006.

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

RANHOTRA, G. S.; LOEWE, R. J.; LEHMANN, T. A. Breadmaking quality and nutritive value of sprouted wheat. **Journal of Food Science**, v. 42, p. 1373-1375. 1977.

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

RICHTER, K.; CHRISTIANSEN, K., & GUO, G. Wheat sprouting enhances bread baking performance. *Cereal Food World*, v. 59, p. 231 - 233. 2014.

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

SAGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos**. Editora Varela. São Paulo. 517p. 1996.

SAMAN, P.; VÁZQUEZ, J. A.; PANDIELLA, S. S. Controlled germination to enhance the functional properties of rice. **Process Biochemistry**, v. 43, p. 1377-1382. 2008.

SANDHU, K.S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1499-1507, 2007.

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

SAULNIER, L.; SADO, P. E.; BRANLARD, G.; GILLES, C.; GUILLON, F. Wheat arabinoxylans: Exploiting variation in amount and composition to develop enhanced varieties. **Journal of Cereal Science**, v. 46 (3), p. 261-281. 2007.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M. Z., LIMBERGER, V. M. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, (2), p. 211-222. 2011.

SCHMIELE, M.; FELISBERTO, M.H.F.; CLERICI, M.T.P.S.; CHANG, Y.K. Mixolab™ for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. **LWT - Food Science and Technology**, p1–11. 2012.

SEHN, G. A. R. **Desenvolvimento de padrões reológicos para farinhas de trigo e estudo do envelhecimento de pães de forma integrais**. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. 2015.

SHAH, S. A.; ZEB, A.; MASOOD, T.; NOREEN, N.; ABBAS, S. J.; SAMIULLAH, M.; ABDUL ALIM, Md.; MUHAMMAD, A. Effects of sprouting time on biochemical and nutritional qualities of Mungbean varieties. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6 (22), p. 5091-5098. 2011.

SHAFQAT, S. **Effect of different sprouting conditions on alpha amylase activity, functional properties of wheat flour and on shelf life of bread supplemented with sprouted wheat**. Doctoral. Guelph, Ontario: University of Guelph. 2013.

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

SILVA, S.D.S.; MANICA-BERTO, R.; TOMASCHEWSKI, J. G.; BORGES, C. T.; DOMINGUES, W.B.; HELBIG, E. Fenóis Totais e Capacidade antioxidante de painço (*Panicum miliaceum* L.) germinado. VIII Simpósio de Alimentos – UPF, v 8, p.1-5. 2013.

SILVERSTAIN, Robert M. WEBSTER, Francis X.; KIEMLE, David J. Identificação De Espectrométrica De Compostos Orgânicos. Tradução Ricardo Bicca de Alencastro. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2007.

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

STEVE, I. O. Influence of germination and fermentation on chemical composition, protein quality and physical properties of wheat flour (*Triticum aestivum*). **Journal of Cereals and Oil Seeds**, v. 3(3), p. 35-47. 2012.

ŠRAMKOVÁ, Z.; GREGOVÁ, E.; ŠTURDÍK, E. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain - Review. *Acta Chimica Slovaca*, Vol.2, No.1, 115 – 138. 2009

SWIECA, M.; DZIKI, D.; GAWLIK-DZIKI, U. Starch and protein analysis of wheat bread enriched with phenolics-rich sprouted wheat flour. **Food Chemistry**. V.228, p 643-648. 2017.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**. v.13, p. 215-225. 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. 4<sup>th</sup> ed. WASHINGTON, dc: Sinauer Associates Inc., 705p. 2006.

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

TIAN, B.; XIE, B.; SHI, J.; WU, J.; CAI, Y.; XU, T.; XUE,S.; DENG, Q. Physicochemical changes of oat seeds during germination. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1195–1200. 2010.

TWARDOWSKI, J; ANZENBACHER, P. **Raman and IR Spectroscopy in Biology and Biochemistry**. Warsaw: Polish Scientific Publishers, 269p. 1994.

USDA. United States Department of Agriculture. Economic Research Service. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/data-products/wheat-data> Acesso 02/11/2017. 2017.

UTHUMPORN, U.; ZAIDUL, I. S. M.; KARIM, A. A. Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, n. 1, p. 47–54. 2010.

VANDEPUTTE, G. . et al. Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 1, p. 53–59. 2003.

VÁZQUEZ, D. **Aptitud Industrial de Trigo**. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Del INIA. Série Técnica, v. 177, p. 8–32. 2009.

VÁZQUEZ, D.; BERGER,A.G.; CUNIBERTI, M.; BAINOTTI, C.; MIRANDA, M.Z.; SCHEEREN, P.L.; JOBET, C.; ZÚÑIGA, J.; CABRERA, G.; VERGES, R.; PEÑA, R.J. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 196-203. 2012.

ZENG, M.; MORRIS, C. F.; BATEY, I. L.; WRIGLEY, C. W. Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties in wheat. *Cereal Chemistry*, v.74, n.1, p.63-71, 1997.

ZUCCO, F.; BORSUK, Y.; ARNTFIELD, S. D. Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT - Food Science and Technology*, Amsterdam, v. 44, p. 2070-2076, 2011.

WANG L.; YAO Y.; HE Z. H.; WANG D. S.; LIU A. H.; ZHANG Y. Determination of phenolic acid concentrations in wheat flours produced at different extraction rates. **Journal of Cereal Science**. 57, 67–72. 2013.

WIESER, H. **Chemistry of gluten proteins**. *Food Microbiology*, Garching, v. 24, n. 2, p. 115-119, 2007

WHOLE GRAINS COUNCIL. What is a whole grain? Disponível em: <https://goo.gl/niDzZB>. 2004.

XIA, Q.; WANG, L.; XU, C.; MEI, J.; LI, Y. Effects of germination and high hydrostatic pressure processing on mineral elements, amino acids and antioxidants in vitro bioaccessibility, as well as starch digestibility in brown rice (*Oryza sativa* L.). **Food Chemistry**, v. 214, p. 533–542. 2017.

XU, J. BIETZ, J. A., CARRIERE, C. J. Viscoelastic properties of wheat gliadin and glutenin suspensions. **Food Chemistry**, v. 101 p. 1025–1030. 2007.

YONEMOTO, P. G.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. M. L. Effect of granule size on the structural and physicochemical characteristics of wheat starch. **Food Science and Technology**, v.27, p.761-771. 2007.

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

ZILIC, S.; BARAC, M.; PESIC, M.; DODIG, D.; IGNJATOVIC-MICIC, D. Characterization of proteins from grain of different bread and durum wheat genotypes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, p. 5878–5894. 2011.





## 7 APÊNDICE A

Artigo escrito a partir de parte do estudo da dissertação

### **Qualidade tecnológica da farinha de trigo de grão inteiro parcialmente substituída por farinha trigo germinado**

Tatiana Cauduro<sup>a</sup>, Barbara Biduski<sup>a</sup>, Alessandra dos Santos<sup>b</sup>, Luiz Carlos Gutkoki<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

<sup>b</sup> Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE, Cascavel PR.

#### RESUMO

A farinha de trigo de grão inteiro é reconhecida por oferecer benefícios à saúde por conter todos os componentes do grão intacto. No entanto, a presença do farelo promove alterações nos atributos de qualidade tecnológica da farinha de trigo e o estudo de novas tecnologias para aplicação em produtos são necessárias. A utilização de farinha trigo germinado pode alterar as características tecnológicas da farinha de trigo de grão inteiro. O objetivo desse estudo foi investigar o efeito da utilização de farinha trigo germinado nas propriedades tecnológicas e funcionais da massa e de pão de forma elaborados com farinha de trigo de grão inteiro. O trigo da cultivar Ametista foi produzida na safra 2017, seco até a umidade de 13%, parte dele germinado nos 24, 48 e 72 h. As farinhas produzidas com os maltes e a amostra controle (não germinada) foram caracterizadas. Após, um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 3 foi utilizado. As farinhas trigo germinado foram adicionadas nas proporções de 5, 15 e 25%, sendo a farinha de trigo de grão inteiro não germinada o controle. A atividade amilolítica total, a  $\alpha$ -amilase e a atividade antioxidante aumentaram nas farinhas trigo germinado conforme aumentou o tempo de germinação, além de uma coloração mais escuras em relação a amostra controle. Ocorreu redução dos valores de absorção de água, estabilidade e tempo de desenvolvimento da massa, além da diminuição da capacidade de gelatinização do amido quando. Apesar do aumento da atividade enzimática, os valores de número de queda permaneceram adequados para a fabricação de pães. Uma diminuição na viscosidade dos géis quando utilizadas as farinhas a partir de 48 h de germinação juntamente com uma menor tendência a retrogradação das mesmas amostras foi observado. A estabilidade das massas diminuiu conforme aumentou a intensidade da substituição. Os pães ficaram mais macios com a utilização de FM 24 e FM 48 até 15% de substituição. Apesar de ter auxiliado no aumento do volume dos pães, a adição de FM 72 aumentou significativamente os parâmetros de dureza e mastigabilidade. Ocorreu um aumento significativo na firmeza dos pães com o aumento dos dias de armazenamento para todos os experimentos. A maltagem teve efeito benéfico quando utilizadas farinhas com 48 h de germinação em substituições de até 15% e com 72 h até 5% pois, favoreceram o aumento do volume dos pães e formação alveolar mais homogênea.

**Palavras-chave:** farinha de trigo integral, trigo germinado, pão de forma, *Triticum aestivum* L.



## 1. Introdução

A farinha de trigo é processada para uma gama de produtos que compõem a dieta de grande parte da população, fornecendo boa parte do aporte calórico para a alimentação humana. É utilizada na elaboração de produtos de panificação como pães, massas, biscoitos e bolos, com crescente utilização de grãos inteiros. Os produtos de farinha de trigo de grão inteiro contêm todos os componentes do grão (endosperma, farelo e gérmen) nas mesmas proporções do grão natural (AACC, 2013) e são reconhecidos pelos benefícios à saúde. Tanto o farelo, que é rico em fibras, antioxidantes e vitamina B, quanto o gérmen, rico em micronutrientes, podem oferecer importantes benefícios para a saúde.

Apesar de o consumo de alimentos produzidos com grão inteiro já constituir um mercado bem estabelecido, a fabricação destes produtos ainda é um desafio para a indústria, uma vez que a presença das camadas externas do grão causa alterações nas propriedades tecnológicas e sensoriais desses alimentos, limitando seu consumo. No processo de formação da massa, os maiores efeitos tecnológicos estão relacionados com as fibras presentes no farelo que influenciam a qualidade dos produtos de panificação, trazendo desvantagens tecnológicas e características sensoriais inferiores.

Atualmente há uma crescente demanda para o desenvolvimento de novos ingredientes e processos de produção alternativos, para atingir as expectativas nutricionais e sensoriais dos consumidores. Nesse contexto, a adição trigo germinado pode ser uma alternativa eficiente. Grãos maltados são conhecidos por melhorar a disponibilidade dos nutrientes do grão e, quando adicionados à farinha de trigo de grão inteiro, apresentam potencial para aprimorar as características sensoriais e tecnológicas dos produtos. Durante a maltagem do grão de trigo, ocorre o aumento no teor de enzimas amilolíticas, principalmente a enzima  $\alpha$ -amilase. Essas enzimas, hidrolisam o amido em moléculas menores, que são utilizadas pelas leveduras durante a fermentação e podem melhorar o volume específico e as características sensoriais dos produtos de panificação. Os melhoradores industriais de farinhas, muito utilizados em produtos de panificação, possuem em sua composição as enzima  $\alpha$ -amilase, o que justifica a adição de malte para auxiliar na melhoria das características tecnológicas e sensoriais de produtos de grão inteiro. Além dos benefícios tecnológicos, durante a maltagem é potencializado o aumento de compostos bioativos, sendo essa uma alternativa para aumentar a ingestão de compostos benéficos à saúde. Assim, o objetivo geral desse trabalho é investigar se a

adição trigo germinado altera as propriedades tecnológicas e funcionais da massa e de pão de forma elaborados com farinha de trigo de grão inteiro

## **2. Materiais e métodos**

### 2.1. Materiais

Os grãos de trigo da cultivar Ametista, safra 2017 foram gentilmente doados pela empresa OR Melhoramento de Sementes, Passo Fundo, Brasil. Os demais ingredientes para elaboração dos pães foram adquiridos no comércio local. Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico ou superior.

### 2.2. Farinha trigo germinado

Os grãos de trigo limpos e livres de impurezas foram imersos em solução de hipoclorito de sódio a 1% (v/v) por 15 min. Foi seguido de lavagem com excesso de água destilada para retirada dos resíduos. Posteriormente macerados com água destilada (5 Kg de grão para 10 L de água) a temperatura constante de 15 °C por 12 horas, onde os grãos atingiram a umidade de 40%. Os grãos macerados foram dispostos em duas camadas de 1 cm cada, dentro de bandejas, onde as camadas foram separadas por papel germinador. As bandejas foram conduzidas à germinação em germinador de sementes (Modelo Mangelsdorf, J.Prolab) em temperatura constante de 20°C e umidade relativa de ar de 98%. A germinação foi interrompida mediante a secagem dos grãos em estufa (Modelo 502, Fanem) em temperatura de 45°C até a umidade de 12% em três diferentes tempos 24, 48 e 72 horas, gerando 3 maltes. Para a obtenção da farinha foram retiradas as radículas e coleóptilo.

### 2.3. Farinha de trigo de grão inteiro (FTGI)

A FTGI e as farinhas dos maltes foram moídas em moinho de laboratório (VG 2000, Vitti Molinos, Brasil). A farinha branca e o farelo fino foram misturados e o farelo grosso de cada amostra foi novamente moído (Hammer Mill, Perten Instruments, EUA), até tamanho de partícula menor que 600 µm e, reincorporado às farinhas. As três partes foram misturadas em batedeira (BP- 06, Lieme, Brasil) durante 10 min.

#### 2.4. Planejamento experimental

O experimento foi dividido em 2 partes. Na primeira foi caracterizada a FTGI e as farinhas trigo germinado. A segunda etapa, foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 3, utilizando 3 tempos de germinação para os grãos de trigo (24, 48 e 72 horas) e 3 proporções de substituição de FTGI por malte de trigo (5, 15 e 25%) totalizando 9 tratamentos. O controle foi 100% farinha de grão inteiro.

#### 2.5. Composição físico-química e atividade enzimática das farinhas

A dureza dos grãos de trigo não germinados e dos grãos dos maltes foi medida em equipamento Single Kernel Characterization System (SKCS 4100, Perten Instruments, EUA), através do método AACCI 55-31.01, o PH foi medido em balança de massa hectolétrica (DalleMolle, Brasil) e a massa de mil sementes, ambos realizados de acordo com a metodologia descrita nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), A granulometria da FTGI e das farinhas trigo germinado foi determinada pela passagem de 100 g de amostra pelo medidor de partículas Laser Particle Size Analyzer (S2-WD dry, Battersize Instruments, China) através do método n° 55-40.01 da AACCI (2010).

A determinação da atividade amilolítica total e da enzima  $\alpha$ -amilase da FTGI e das farinhas trigo germinado foi realizada seguindo a metodologia descrita por Saman, Vázquez e Pandiella (2008).

A atividade da enzima  $\alpha$ -amilase seguiu o mesmo procedimento da atividade amilolítica total com modificações na temperatura e tempo de incubação. A mistura do extrato enzimático e substrato foi incubada a 70°C por 15 e em seguida, foi colocada em banho a 90°C para finalizar a reação. Após cada reação enzimática, foram coletados 100  $\mu$ L e adicionados 100  $\mu$ L de DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico), incubados por 5 min a 90°C, para a reação de cor, 1,2 mL de água destilada foi adicionado e a absorbância foi medida a 540 nm. Uma unidade de atividade amilolítica total e de  $\alpha$ -amilase (UA) foi considerada como a quantidade de enzima necessária para liberar 1  $\mu$ mol de maltose por minuto. O número de queda foi determinado pelo método n° 56-81.03 da AACCI (2010), em equipamento Falling Number (FN 1800, Perten Instruments, EUA).

O conteúdo de proteínas totais, umidade, lipídios, fibras, cinzas e carboidratos da FTGI das farinhas trigo germinado foi medido em equipamento NIR (DS 2500, Foss, Dinamarca) pelo método n° 39-00.01 da AACCI (2010). O teor de amido danificado da

FTGI e das farinhas trigo germinado foi determinado de acordo com o método nº 76-33.01 da AACCI (2010) em equipamento (SDmatic, Chopin, França).

A determinação de cor das farinhas foi medida pelo equipamento Espectrofotômetro de Refletância Difusa (ColorQuest II, HunterLab, EUA), com sensor óptico geométrico de esfera para obtenção dos valores  $L^*$  (luminosidade) variam entre zero (preto) e 100 (branco),  $-a^*$  (verde) até  $+a^*$  (vermelho), e  $-b^*$  (azul) a  $+b^*$  (amarelo).

## 2.6. Compostos fenólicos e atividade antioxidante

O conteúdo de compostos fenólicos totais e foi determinado utilizando o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu. A quantificação foi realizada com base em uma curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes em ácido gálico (GAE)/100 g de peso seco (PS).

## 2.7. Propriedades reológicas

As propriedades de pasta da FTGI e das farinhas trigo germinado foram analisadas no equipamento Viscosímetro (RVA-3D, Newport Scientific, Austrália) de acordo com o método nº 76-21.01 da AACCI (2010).

A resistência à extensão e extensibilidade da massa de cada tratamento foi determinado pelo analisador de textura (TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Reino Unido) A massa foi preparada em promilógrafo (T6-E, Koloman Egger, Áustria), utilizando 200 g de farinha de trigo corrigidos para 14% de umidade, até atingir a consistência de 500 UF. Após o preparo da massa, a mesma permaneceu em descanso por 45 min. Logo após, foram separados 50 g de cada amostra de massa para a confecção de tiras com aproximadamente 7 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento em molde específico do analisador de textura (modelo TA-XT2i, Stable Micro Systems, Reino Unido), utilizando o probe Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig(A/KIE). As condições aplicadas ao ensaio foram: velocidade de pré-teste: 2,0 mm/s, velocidade de teste: 3,3 mm/s, velocidade de pós-teste: 10,0 mm/s e distância de 75,0 mm.

## 2.8. Produção dos pães e avaliação da qualidade

O preparo da massa de cada tratamento foi realizado como descrito por Oro (2013) com modificações. A massa foi preparada utilizando a masseira do farinografia

(Farinograph–E, Brabender, Alemanha) utilizando 50 g de farinha de trigo. As massas foram preparadas utilizando as farinhas dos tratamentos, gordura vegetal hidrogenada (3%), cloreto de sódio (2%), ácido ascórbico (0,01%), açúcar (5%), fermento biológico (3%), água a 4,0°C adicionada de acordo com a absorção previamente determinada nas propriedades de mistura da massa.

A farinha foi colocada na masseira do equipamento (mantida em temperatura constante de 30 °C) e misturada durante 1 min. Em seguida, foram adicionados o açúcar, o fermento, o sal e a gordura vegetal hidrogenada e também misturados durante 1 minuto. Após este período, foi adicionada água destilada em quantidade suficiente para que a massa formada atinja a consistência máxima de 650 ( $\pm$  20) UF, empregando como tempo de desenvolvimento da massa o pico de desenvolvimento fornecido pelo equipamento. Finalizada a etapa de amassamento, a massa foi fracionada pesada e dividida em partes iguais de 35 g. As frações foram moldadas com o auxílio de cilindro manual (Pasiani, Brasil) e colocadas em formas de aço inox, previamente untadas com gordura vegetal hidrogenada. As massas permaneceram em câmara de descanso (Multi Pão, Brasil) sob temperatura controlada de 30°C e 100% de umidade relativa durante 40 min. Posteriormente, foram submetidas a cozimento em forno (QA 226, Labor Instruments Works, Hungria) com temperatura controlada de 150°C e tempo de cozimento de 12 min. Os pães permaneceram em temperatura ambiente por 1 hora após cozimento para esfriar antes das análises de qualidade.

O volume específico dos pães foi determinado em aparelho Vondel, (VDMV-03/MVP-1300, Vondel, Brasil), pelo deslocamento de sementes de canola e o volume específico calculado pela relação entre o volume do pão assado e a sua massa, obtida por pesagem em balança semi analítica. Os resultados foram expressos em  $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ .

A dureza e a mastigabilidade dos pães foram determinadas através analisador de textura (TA.XTplus, Stable Micro Systems, Reino Unido) utilizando o método n 74-09.01 da AACCI (2010).

A avaliação da textura dos pães durante sete dias de armazenamento, os pães de forma foram armazenados em sacos plásticos, dispostos dentro de potes plásticos com tampa, mantidos em sala à temperatura ambiente e avaliados no quarto e no sétimo dia de armazenamento, quanto a dureza e a mastigabilidade.

## 2.9. Avaliação estatística

Para a caracterização das farinhas, a significância dos dados foi testada pela análise de variância (ANOVA) a 0,05 de probabilidade de erro e nos modelos significativos, as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Características físico química dos grãos

A MMG foi superior na amostra não germinada e teve uma redução gradual com o aumento do tempo de germinação. Os grãos germinados apresentaram menores valores de MMG devido à perda de matéria seca resultante da degradação de reservas durante a germinação (MARES e MRVA, 2008). Uma diminuição do PH das amostras foi observada após a germinação, sendo essa redução mais intensa nas amostras com 48 e 72 h de germinação. Os valores de PH representaram as perdas quantitativas totais, resultantes do aumento da atividade enzimática estimulada durante a germinação o que promoveu a perda de matéria seca nos grãos (MARES e MRVA, 2008). Os valores de ID dos grãos variaram de 87,4 a 97,1, sendo os grãos da cultivar utilizada para esse estudo classificada como muito duro (AACCI, 2010). A germinação durante 24 h acarretou em aumento no ID dos grãos. No entanto a dureza foi atenuada com o aumento do período de germinação (48 e 72 h), não diferindo da amostra NG. Esses valores corroboram com Baranzelli et al., (2018), que obteve valores de ID superiores nos grãos germinados por 24 horas, em relação aos grãos não germinados e germinados por 48 e 72 h. Durante a germinação, pela ação das enzimas, os nutrientes de reserva como os carboidratos, proteínas e lipídios são mobilizados para fornecer energia para o crescimento da planta. Como resultado dessa ação, mudanças ocorrem tanto no endosperma como na camada de aleurona, o que resulta na diminuição da dureza. (DZIKI et al., 2015).



Tabela 1 - Características físico-química e reológicas da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) e das farinhas trigo germinado

ANÁLISE	FTGI	FM24	FM48	FM72
MMG (g)	39,1 a ± 0,8	37,5 ab ± 0,6	35,9 bc ± 0,1	35,1 c ± 0,1
PH	83,7 <sup>a</sup> ± 0,2	79,1 b ± 0,2	74,0 c ± 0,2	73,5 c ± 0,2
ID	89,1b ± 0,7	97,1a ± 0,7	87,4b ± 0,8	88,1b ± 1,1
NQ (s)	297a ± 3	292a ± 1	123b ± 2	92c ± 1
Atividade amilolítica total (U/g)	134,0d ± 1,5	157,4c ± 0,7	168,0b ± 1,6	192,0a ± 2,6
Atividade de α-amilase (U/g)	38,7d ± 0,8	43,1c ± 0,9	60,1b ± 0,4	66,8a ± 0,9
Proteína (%)	12,35c ± 0,11	13,47b ± 0,12	13,60b ± 0,08	14,18a ± 0,13
Lipídios (%)	1,75b ± 0,03	1,93a ± 0,01	1,78b ± 0,06	1,71b ± 0,01
Amido (%)	57,25a ± 0,21	56,20b ± 0,26	55,92b ± 0,25	52,78c ± 0,29
Fibras (%)	1,77d ± 0,06	2,04b ± 0,04	2,18c ± 0,04	2,48a ± 0,06
Cinzas (%)	1,64b ± 0,01	1,59c ± 0,01	1,58c ± 0,02	1,79a ± 0,01
Compostos fenólicos totais (mg GAE/g)	0,67a ± 0,02	0,59a ± 0,07	0,63a ± 0,04	0,65a ± 0,02
Capacidade antioxidante ABTS (mM trolox/g)	0,10c ± 0,00	0,23b ± 0,01	0,21b ± 0,04	0,38a ± 0,02

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). FTGI: farinha de trigo de grão inteiro; FM 24 farinha ou grão maltado por 24 horas; FM 48 farinha ou grão maltado por 48 horas; FM 72 farinha ou grão maltado por 72 horas; MMG: massa de mil grãos; PH: peso do hectolitro; ID: índice de dureza; NQ: número de queda

### 3.2. Atividade enzimática

A germinação ativa principalmente a síntese de enzimas amilolíticas que atuam na degradação de amido, sendo a α-amilase a principal enzima ativada e responsável pela hidrólise do amido (SAMAN et al., 2008). A germinação por 24h não acarretou em diferença significativa no NQ em comparação com a amostra não germinada. No entanto, uma diminuição no NQ conforme aumentou o tempo de germinação foi observado. Conseqüentemente, a atividade amilolítica total e de α-amilase aumentaram significativamente com o aumento do tempo de germinação a partir das 48 h de germinação, sendo que a maior atividade ocorreu na amostra germinada por 72 horas. Os dados de atividade enzimática confirmam a síntese e o acúmulo de enzimas amilolíticas durante as fases da germinação, desde os primeiros dias. A α-amilase hidrolisa grandes moléculas de amido resultando em redução na viscosidade do gel e NQ (BARANZELLI, 2017; DING et al.; 2018).

### 3.3. Características físico químicas das farinhas

O menor valor de proteína foi encontrado na NG (12,35%). O teor de lipídios foi mais alto na amostra com 24 h e foi o único valor que diferiu significativamente das outras amostras. O menor teor de amido 52,78%, foi encontrado na amostra com 72 h, enquanto que a NG apresentou o maior valor 57,25% de amido, mas todas as amostras mostraram diferença significativa entre si. As mudanças na composição do grão iniciam primeiramente com a hidrólise dos carboidratos que são transformados por enzimas em compostos simples e utilizados na respiração, na produção de novas células do embrião e no transporte de nutrientes para o broto (TAIZ e ZEIGER, 2006). Dessa forma, com a perda de amido durante a germinação, o peso do grão diminuiu enquanto que as proteínas, fibras e as cinzas permaneceram o mesmo, mas aumentaram proporcionalmente ao peso total do grão (HUNG et al., 2011). Os teores de amido danificado variaram entre 4,0 e 4,9%, sendo que a amostra germinada por 72 apresentou o menor valor e a FTGI (NG) o maior valor. As farinhas germinadas por 24 e 48 h apresentaram valores de 4,4 e 4,1 respectivamente. Os resultados demonstram que a moagem aplicada nos maltes não afetou a estrutura do amido já que durante a moagem, pequena proporção (4-5%) de grânulos de amido foi fisicamente danificada. Para o parâmetro de luminosidade, o malte germinado por 72 horas apresentou diferença significativa em relação as outras farinhas trigo germinado e a NG, apresentando cor mais escura ( $L^*76,8$ ). Este efeito está associado ao consumo de carboidratos durante a germinação, o que pode escurecer a amostra. As coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , que é a tendência a tons de cores avermelhados e amarelados, indicam que todas as amostras de farinha trigo germinado aumentaram esses parâmetros em relação a NG, o que pode ser justificado pelo aumento de componentes sintetizados durante a germinação, como  $\beta$ -caroteno por exemplo.

### 3.4. Compostos fenólicos e atividade antioxidante

A maltagem dos grãos de trigo não influenciou no conteúdo de compostos fenólicos totais ( $p < 0,05$ ) em relação a NG. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha 2014, que evidencia que a quantidade de compostos fenólicos totais em amostras trigo germinado permanece inalterado até o quarto dia de germinação.

Um aumento na capacidade antioxidante das farinhas trigo germinado foi observado, sendo essa alteração mais intensa para farinha com 72 h de germinação. Esses resultados corroboram com os estudos recentes sobre germinação, que mostram que a germinação aumenta a capacidade antioxidante de sementes (TIAN et al., 2010; ANDERSEN et al., 2011; HUNG et al., 2011; LIU et al., 2011; DIOVANELLA et al., 2013).

O aumento da atividade antioxidante, mesmo com a inalteração do teor de compostos fenólicos totais é um indicativo de que a atividade antioxidante pode ser atribuída a outros compostos e não exclusivamente aos compostos fenólicos (DIOVANELLA et al., 2013). Além disso, o grau de hidroxilação e a posição dos grupos hidroxila na molécula dos compostos fenólicos estão entre os mais importantes fatores que determinam sua atividade antioxidante (LIMA, 2008).

As proteínas do trigo possuem alta atividade biológica e uma grande quantidade de sequencias de aminoácidos biologicamente ativos (CAVAZOS E MEJIA, 2013). De acordo com Zilic et al., (2011) em estudo sobre o efeito da atividade enzimática durante a germinação de trigo, os autores obtiveram um aumento da atividade antioxidante das albuminas e globulinas de 30,3% em relação a amostra não germinada. Os autores afirmam que isso ocorre pelas mudanças estruturais das proteínas, assim como o aumento no nível de proteínas bioativas de baixo peso molecular liberadas no processo hidrolítico durante a germinação.

### 3.5. Efeitos da substituição de FTGI por farinha trigo germinado

O maior valor de NQ foi encontrado na FTGI e o menor valor no experimento com 25% de substituição da farinha FM 72. A IN 38 (BRASIL, 2010) determina que o valor mínimo para farinhas destinadas a panificação deve ser 220 segundos. Farinhas com um alto NQ (>350 s) têm uma capacidade reduzida para formar açúcares fermentáveis, enquanto que farinhas com um resultado baixo NQ (<250 s) resultam em uma massa difícil de manusear e produtos com característica entumecida devido à alta atividade enzimática (CODINA; LEAHU, 2009). O aumento na porcentagem de substituição de farinha trigo germinado gera diminuição gradual valor de NQ. Ao substituir 5% de FTGI por farinha trigo germinado, os valores médios dos experimentos com FM 24 e FM 48 não tiveram diferenças significativas entre si.

Tabela 2- Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nos valores de número de queda

Tempo (h)	% de substituição			
	0	5	15	25
0	313 ± 1*			
24		298 ± 1 Aa	288 ± 1 Ab	285 ± 0 Ab
48		297 ± 1 Aa	266 ± 0 Bb	239 ± 4 Bc
72		289 ± 0 Ba	234 ± 3 Cb	204 ± 1 Cc

Diferentes letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) para as médias submetidas ao teste Tukey. \*indica que existe efeito significativo.

Ocorreu uma diminuição na viscosidade máxima em relação a FTGI, quando foram adicionadas as farinhas trigo germinado a partir de 48 h, em qualquer proporção. Quando adicionado FM 24, não teve diferença significativa entre os diferentes níveis de substituição. Isso ocorre, pois, a FM24 não apresentou diferença significativa no pico de viscosidade (dados não mostrados). O maior teor de amido nos experimentos com menor intensidade de substituição de farinha trigo germinado pode contribuir para a maior viscosidade (RAGAEE; ABDEL-AAL, 2006). A viscosidade final e a retrogradação demonstraram comportamento similar, com redução nos valores conforme aumenta a porcentagem da substituição de farinha trigo germinado. Pode-se observar ainda que a substituição de FM 72 até o nível de 15% teve menor influência na redução da viscosidade e retrogradação do que a substituição de FM 48 a partir de 15. A retrogradação indica a reorganização das moléculas de amido durante o resfriamento e está diretamente relacionada com a vida de prateleira. Valores menores de retrogradação podem indicar que a degradação do amido durante a germinação contribui para uma menor recristalização das moléculas de amido gelatinizado (LIU et.al., 2017).

Tabela 3 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nas propriedades de pasta

	Tempo	% substituição			
		0	5	15	25
Pico de Viscosidade (cP)	0	2004,0±17,0*			
	24		1944,0±101,8 Aa	1920,0±101,8 Aa	1918,5±65,7 Aa
	48		1563,5±4,9 Ba	1192,9±32,5 Bb	857,5±20,5 Bc
	72		1421,5±20,5 Ba	954,0±11,4 Cb	694,0±18,4 Cc
Quebra (cP)	0	756,0±24,1*			
	24		751,7±26,5 Aa	738,5±36,1 Aa	757,8±44,9 Aa
	48		706,9±18,4 Aa	682,5±20,4 Aa	581,5±17,6 Bb
	72		682,9±18,4 Aa	611,5±3,6 Bb	510,0±21,2 Cc
Viscosidade final (cP)	0	2405,5±20,5*			
	24		2391,0±0,0 Aa	2249,0±67,9 Ab	2239,0±65,1 Ab
	48		1842,5±31,8 Ba	1279,5±30,5 Bb	806,5±6,4 Bc
	72		1690,5±6,4 Ca	953,5±6,4 Cb	586,0±2,8 Cc
Tendência a retrogradação	0	1144,5± 3,5*			
	24		1150,5±11,9 Aa	1078,0±18,4 Ab	1074,0± 38,2Ab
	48		1019,5±7,8 Ba	769,0±18,4 Bb	530,5±3,6 Bc
	72		915,9±21,2 Ca	611,0±0,0 Cb	402,0±0,0 Cc

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si. Medidas com a mesma letra minúscula na linha não difere entre si. \* indica que existe efeito significativo.

A substituição da FTGI por FM24 acarretou em aumento na resistência a extensão e extensibilidade da massa, independente do teor de substituição. No entanto o aumento do tempo de germinação bem como o aumento da % de substituição ocasiono uma diminuição gradativa desses parâmetros, exceto para FM48-15%. As mudanças ocorridas durante as primeiras 24 h de germinação provocaram o aumento da força na massa. As mudanças enzimáticas mais acentuadas podem ser observadas a partir de 48 horas de germinação, onde as características reológicas foram mais afetadas, como discutido anteriormente na caracterização das farinhas trigo germinado. Esses parâmetros podem estimar a capacidade da massa em reter o gás durante o processo de fermentação. Desta forma, uma maior força e maior extensibilidade indicam produtos mais fortes e mais elásticos (LIU et al., 2016). Com base nisso os resultados sugerem que a adição de farinha maltada melhora as propriedades de formação de massa quando a germinação ocorre em 24h.

Tabela 4 - Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição nas propriedades de resistência à extensão e extensibilidade das massas

	Tempo	% de substituição			
		0	5	15	25
Resistência	0	65,3 ± 0,6*			
	24		67,7 ± 3,1 Aa	69,3 ± 0,6 Aa	65,7 ± 1,7 Ab
	48		60,7 ± 0,6 Bb	70,7 ± 0,8 Aa	51,4 ± 0,2 Bc
	72		49,7 ± 0,8 Ca	20,5 ± 1,0 Bb	8,9 ± 0,7 Cc
Extensibilidade	0	16,8 ± 0,3*			
	24		17,4 ± 0,1 Ba	17,6 ± 0,2 Ca	17,7 ± 0,1 Ba
	48		19,3 ± 0,6 Ab	22,0 ± 1,7 Aa	19,5 ± 0,4 Ab
	72		17,6 ± 0,2 Bb	19,0 ± 0,6 Ba	16,2 ± 0,6 Cc

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si. Medidas com a mesma letra minúscula na linha não difere entre si. \*indica que existe efeito significativo.

O parâmetro extensibilidade apresentaram o mesmo comportamento que a resistência a extensão, apresentando maiores valores para FM24 e FM48, independente da concentração. Com uma leve diminuição quando utilizado FM72, apesar disso os valores reportados foram superiores do que a FTGI. Isso sugere que a adição de farinha trigo germinado aumenta significativamente o poder da massa em se estender.

### 3.6. Característica dos pães elaborados com substituição parcial de farinha trigo germinado

Os efeitos da substituição de FTGI por farinhas trigo germinado nas características dos pães foram avaliados através do volume específico, da firmeza e mastigabilidade dos pães. O volume específico do pão dependente da expansão da massa durante o processo de fermentação e é influenciada, entre outras características como a força de glúten, pela atividade enzimática da farinha (CAUVAIN, 2009). A germinação, ao ativar as enzimas amilolíticas, hidrolisam o amido liberando açúcares. Os açúcares servem de substrato para as leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) responsáveis pela fermentação e podem contribuir para o aumento no volume específico dos pães (BOITA, 2016). O volume específico dos pães está associado as características sensoriais de pão como leveza, maciez, características da crosta e textura do miolo.

Tabela 5- Efeito das variáveis tempo de germinação e % de substituição no volume dos pães.

	Tempo	% substituição			
		0	5	15	25
Volume específico	0	3,2 ± 0,0*			
	24		2,9 ± 0,0Ba	2,9 ± 0,0Ba	2,9 ± 0,1Ba
	48		3,3 ± 0,1Aa	3,2 ± 0,3Aa	3,0 ± 0,1Ab
	72		3,5 ± 0,0Aa	2,9 ± 0,0Bb	2,7 ± 0,1Bc
Firmeza	0	350,8 ± 7,6ns			
	24		336,7±9,9Ba	304,5 ±1,0Ba	328,6±18,6Ba
	48		246,6±7,0Cc	315,8 ±26,3Bb	375,2±9,69Aa
	72		485,3±2,3Aa	486,3 ±7,5Aa	405,6±4,9Ab
Mastigabilidade	0	271,7 ± 9,5*			
	24		273,3±1,2Aa	240,0±1,1Ba	260,6±9,1Ba
	48		191,8±8,5Bb	248,7±29,6Ba	231,0±17,1Ba
	72		284,1±0,1Ab	334,2±0,1Aa	291,1±0,1Ab

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna não diferem entre si. Medidas com a mesma letra minúscula na linha não difere entre si. \* indica que existe efeito significativo.

A porcentagem de substituição da farinha por farinha trigo germinado não teve grande influência no volume específico dos pães. Ao observar a atividade enzimática total e de  $\alpha$ -amilase da FM 24 note-se que, apesar de ambas terem aumentado significativamente, a hidrólise das moléculas de amido não foi suficiente para influenciar nos processos tecnológicos que auxiliam na fermentação. Isso pode ser confirmado pelo NQ, onde a FM24 não diferiu significativamente da FTGI. Outro fator a ser observado é o aumento significativo da resistência a extensão das massas elaboradas com FM 24 em qualquer nível de substituição. Por ser mais resistente a extensão, pode ter influenciado na diminuição no volume dos pães.

A utilização da FM48 aumentou significativamente o volume específico dos pães mesmo na menor porcentagem de substituição, no entanto uma leve redução foi observada quando adicionados 25%. O aumento da atividade amilolítica da FM48 e FM72, bem como diminuição do NQ pode ter auxiliado no aumento do volume específico, sendo essas alterações mais intensas na FM72. Porém, o aumento da porcentagem de substituição influenciou negativamente no volume específico dos pães, acarretando em diminuição do valor quando utilizado FM48-25% e FM72 com 15 e 25% de substituição.

A firmeza e a mastigabilidade são atributos de qualidade importantes e estão diretamente associados a aceitabilidade dos pães pelos consumidores. A firmeza é decorrente, além da gelatinização do amido, em que grânulos de amido entumecidos

podem ser alongados permitindo que as células de gás se expandam (PASRIJA et al., 2015), também pela formação de ligações cruzadas entre o amido parcialmente solubilizado e as proteínas do glúten (BARANZELLI et al., 2018). A mastigabilidade é a energia necessária para deformar um produto sólido para deglutição (PASRIJA ET AL., 2015). Os pães significativamente mais firmes foram os elaborados com FM 72 e FM48-25%. No entanto uma diminuição na firmeza foi relatado nas demais amostras, quando comparadas com a amostra controle. A mastigabilidade seguiu a mesma tendência, logo pode-se dizer que maiores valores obtidos para firmeza dos pães significam que é necessário aplicar maior força para comprimir o pão na mastigação. Além disso, os pães que apresentaram maior firmeza, também apresentaram menor elasticidade, pois sofrem os efeitos da germinação na formação da rede de glúten.

Tabela 6 - Valores médios do experimento durante 7 dias de estocagem para a variável firmeza (g).

Tempo / % de substituição	Tempo de prateleira		
	0	4	7
0	350,8±7,6nsY	1170,5±57,3nsX	1249,4±39,7ns X
24			
5	336,7±9,9 BaZ	1040,0±38,4 BbY	1461,9±50,5 AaX
15	304,5±1,0BaY	1147,8±9,3 AaX	1204,1±17,5 AbX
25	328,6± 18,6AaZ	1134,5±54,1 BabY	1373,9±19,7 AaX
48			
5	246,6±7,5 CaZ	1085,5±86,0 BaY	1423,8±21,8 AaX
15	315,8±26,3 BaY	821,6±18,0 BbX	853,1±34,3 BcX
25	375,2±9,7 AaZ	909,0±13,4 CbY	1020,7±7,9 BbX
72			
5	485,3±2,3 AaZ	1283,7±9,5AaX	1179,1±14,9 BbY
15	486,3±7,5 AaZ	1166,7±44,8 AcY	1271,5±34,3 AbX
25	405,6±4,9 AaY	1341,6±22,1 AaX	1388,7±22,7 AaX

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna (A,B ou C), dentro do mesmo nível do fator Add, não diferem entre si quanto ao Fator Tempo. Medidas com a mesma letra minúscula na coluna, dentro do mesmo nível do fator tempo, não difere entre si quanto ao Fator Add. Medidas com a mesma letra maiúscula na coluna (X, Y ou Z), entre linhas, não se diferem segundo o fator tempo de prateleira. ns significa que não existe efeito significativo entre o tratamento adicional e a combinação dos fatores tempo e add. \* existe efeito significativo.

Foram avaliados a firmeza e a mastigabilidade dos pães nos dias 0, 4 e 7 em todos os experimentos. De maneira geral, ocorreu um aumento significativo na firmeza dos pães



com o aumento dos dias de armazenamento para todos os experimentos. Após 4 dias de armazenamento ocorreu um aumento médio de 214% no valor de dureza em relação ao dia 0, em todos os tratamentos. O aumento da firmeza foi menos pronunciado após 7 dias de armazenamento, apresentando 13% de aumento em comparação com o 4º dia, com um total de 257%, em comparação com o tempo 0. Assim a maior mudança ocorreu nos primeiros dias de estocagem. Isso pode sugerir que apesar da farinha trigo germinado não melhora a maciez e mastigabilidade dos pães pode retardá-la ao longo da estocagem. Porém com o aumento da intensidade da germinação durante a malteação bem como aumento da concentração da FM72 ocorreu o aumento da firmeza e mastigabilidade ao longo do armazenamento avaliado, sendo similar a amostra controle. Desta forma, a melhoria das características de qualidade dos pães de FTGI com adição de farinha trigo germinado depende da intensidade da germinação bem como quantidade de FM utilizada.

Tabela 7 - Valores médios do experimento durante 7 dias de estocagem para a variável mastigabilidade

Tempo / % de substituição	Tempo de prateleira		
	0	4	7
0	271,7±9,5*Y	559,5±46,9*X	629,2±1,5*X
24			
5	273,3±1,2 AaY	583,8±28,6 AaX	563,6± 2,1AaX
15	240,0±1,1 AaY	620,1±108,9 AaX	513,9±23,6 AaX
25	260,6±9,1 AaY	512,9±53,0 AaX	571,7±14,1 AaX
48			
5	191,8±8,5 AaY	542,2±41,7 AaX	571,8±82,8 AaX
15	248,8±29,6 AaY	386,5±34,1 BbX	290,0± 28,3BbXY
25	231,0±17,1 AaY	431,3±50,4 AabX	347,0±3,9 BbXY
72			
5	284,1±66,9 AaY	556,4±60,4 AaX	362,6±10,2 BaY
15	334,2±14,3 AaX	434,5±61,24 BbX	333,7±11,5 BaX
25	291,1±19,2 AaY	460,8±61,8 AabX	424,2±45,5 BaX

Medidas com a mesma letra maiúsculas na coluna (A,B ou C), dentro do mesmo nível do fator Add, não diferem entre si quanto ao Fator Tempo. Medidas com a mesma letra minúscula na coluna, dentro do mesmo nível do fator tempo, não difere entre si quanto ao Fator Add. Medidas com a mesma letra maiúscula na coluna (X, Y ou Z), entre linhas, não se diferem segundo o fator tempo de prateleira. \*significa que existe efeito significativo entre o tratamento adicional e a combinação dos fatores tempo e add.

#### **4. Conclusão**

A utilização trigo germinado em farinha de trigo de grão inteiro possibilitou a obtenção de pães com qualidade tecnológica aceitável. A maltagem do trigo causou ativação das enzimas amilolíticas na farinha de trigo de grão inteiro e foi mais intensa conforme aumentou os dias de germinação. Além disso, o teor de compostos fenólicos apresentou aumento significativo na atividade antioxidante das farinhas a partir das primeiras 24 h de germinação. Os pães elaborados com FM 24 e FM 48 até 15% de substituição apresentaram maior maciez e volume específico. O aumento da firmeza foi menos pronunciado após 7 dias de armazenamento. Os pães que possuem FM 48 em sua composição apresentaram menor impacto sobre a firmeza do miolo. A mastigabilidade seguiu a mesma tendência.

#### **5. Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001. Nós gostaríamos de agradecer a Fapergs e CNPq, pelo suporte financeiro; e, a OR sementes, pelo fornecimento das amostras.

## 6. Referências

- AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of Analysis**, 11<sup>a</sup>.ed. AACC International, St. Paul, MN, U.S.A. 2010.
- AACC International. **Definition of whole grain**. Disponível em: <https://goo.gl/sEhqcp> 2013, Acesso em: 24/10/2017.
- ABIMAPI, 2018. **Estatísticas**. Disponível em: <https://goo.gl/prhDmu> Acesso em: 10/05/2018.
- ABITRIGO, 2017. **Suprimento e uso de trigo em grão no Brasil**. Disponível em: <https://goo.gl/5hYF3g>. Acesso em 02/11/2017.
- AHMED, J. A.; ALMUSALLAM, A.; AL-HOOTI, S. N. Isolation and characterization of insoluble fiber (Phoenix dactylifera L.). **Food Science & Technology**, v. 50, p. 414-419, 2013.
- AL-HOOTI, N.; SIDHU, J. S. AL-SAQER, J. M.; AL-OTHMAN, A. Effect of raw wheat germ addition on the physical texture and objective color of a designer food (pan bread). **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 56 (2), p. 68-72. 2002.
- BARANZELLI, J. **Germinação pré-colheita e induzida de trigo: atividade enzimática, propriedades físico-químicas, reológicas, de panificação e teor de ácido  $\gamma$ -aminobutírico**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos. Universidade Federal de Pelotas. 2017.
- BECKERT, O. P.; MIGUEL, M. H.; MARCOS FILHO J. Absorção de água e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Scientia Agricola**, v.57, (4), p.671-675. 2000.
- BECKER, N. B.; BARATTO, C. M.; GELINSKI, J. M. L. N. Propriedades das enzimas  $\alpha$ -amilase e xylanase comerciais e sua influência na reologia da massa e na qualidade do pão de forma. **Evidência, Joaçaba**, v.9 n.1-2, p. 67-82, 2009.
- BENJAKUL, S.; KARNJANAPRATUM, S. Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker fortified with tuna bone bio-calcium powder. **Food Chemistry**, v.259, p. 181-187. 2018.
- 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 of Cereal Science**, v. 71, p. 177-182, 2016.
- BOTH J. **Influência do farelo na formação de massa com adição de xilanase**. Dissertação de mestrado. Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo. 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. **Regulamento técnico do trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1 dez. 2010. Seção 1, n. 29, p. 2. 2010.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996. **Norma Técnica referente a Farinha de Trigo**. Disponível em <https://goo.gl/ZvsZHT> acesso em 02/11/2017. 1996.
- BRESSIANI, J. **Qualidade da farinha de trigo de grão inteiro em resposta a influência de diferentes tamanhos de partículas**. Dissertação de mestrado. Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo. 2016.

- 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.
- CUNHA, A.F. **Análise do perfil de compostos fenólicos e da atividade antioxidante em sementes de trigo *triticum eastivum l.* e de cevada *hordeum vulgare* em diferentes estágios de germinação**. Dissertação de mestrado. Departamento de Nutrição e Alimentos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. 2014.
- DUBAT, A. A Modified Protocol for Producing Whole-Wheat Flour From A Standard CHOPIN CD1 Laboratory Mill. In: **AACCI Centennial Meeting**, October 18-21, Minissota, EUA, Abstract AACCI Centennial Meeting Program Book, 2015. 138 p.
- 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.
- FARIAS, A.R.; MINGOTI, R. Há potencial para a autossuficiência. **Revista a Granja**. n. 821 p. 50-53. 2017.
- FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 4. edição. Artmed. 2010.
- FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A.J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho e soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.23, n.2, p. 234-239, 2003.
- HEALTHGRAIN Forum. **The benefits of whole grain**. Disponível em: <https://goo.gl/JTrd52>. Acesso 02/11/2017. 2012.
- 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. 2015.
- HOSNEY, R.C. **Principles of cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 327p. 1986.
- HOSENEY, R. C. **Principios de ciencia y tecnologia de los cereales**. Zaragoza: Acribia, 321p. 1991.
- LÉON, A. E. **De tales harinas**, tales panes: granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica. Córdoba: Hugo Báez, 2007. 480p.
- LI, W.; DOBRASZCZYK, B.J.; DIAS, A.; GIL, A.M. Polymer conformation structure of wheat proteins and gluten subfractions revealed by ATR-FTIR. **Cereal Chemistry**, v 83, p. 407-410. 2006.
- LIU, T.; HOU, G. G.; CARDIN, M.; MARQUART, L.; DUBAT, A. Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. **Food Science and Technology**, v.77 p. 1-7. 2016.
- MARTI, A.; CARDONE, G.; PAGANI, M. A.; CASIRAGHI, M. C. Flour from sprouted wheat as a new ingredient in bread-making. **LWT - Food Science and Technology**. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.10.052. 2017.
- MAYER, A. M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. 2. ed. Oxford: Pergamon Press Ltda. 192p. 1975.
- MELLADO, M. Z. **El trigo en Chile**. INIA n° 121. 684 p. Instituto de investigaciones agropecuárias. Chillá, Chile. 2006.
- MIRANDA, M. Z.; EL-DASH, A. Farinha integral trigo germinado: 3. Características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimento**, v. 22 (3), p. 216-223. 2002.

- MIRANDA, M.Z. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 216p. 1998.
- 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.
- ORO, T.; LIMBERGER, V. M.; MIRANDA, M. Z.; RICHARDS, N. S. P. S.; GUTKOSKI, L. C.; FRANCISCO, A. Pasting properties of whole and refined wheat flour blends used for bread production. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.4, p.754-760, 2013.
- QUAGLIA, G. **Ciencia y Tecnologia de la Panificación**. Zaragoza: Acribia. 1991.
- SANZ-PENELLA, J. M.; LAPARRA, J. M.; SANZ, Y.; HAROS, M. Influence of added enzymes and bran particle size on bread quality and iron availability. **AACC International**, v. 89, p. 223 – 229. 2012.
- SAULNIER, L.; SADO, P. E.; BRANLARD, G.; GILLES, C.; GUILLON, F. Wheat arabinoxylans: Exploiting variation in amount and composition to develop enhanced varieties. **Journal of Cereal Science**, v. 46 (3), p. 261-281. 2007.
- ZILIC, S.; BARAC, M.; PESIC, M.; DODIG, D.; IGNJATOVIC-MICIC, D. Characterization of proteins from grain of different bread and durum wheat genotypes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, p. 5878–5894. 2011.