

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOEXPERIMENTAÇÃO**

**PROPRIEDADES DA MATÉRIA-PRIMA E DA MASSA DE FARINHA
DE TRIGO ELABORADA PELA REINCORPORAÇÃO DE FARELO DE
GRANULOMETRIA FINA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Elis Regina de Fátima Boita

**Passo Fundo, RS, Brasil
2015**

**PROPRIEDADES DA MATÉRIA-PRIMA E DA MASSA DE FARINHA DE TRIGO
ELABORADA PELA REINCORPORAÇÃO DE FARELO DE GRANULOMETRIA
FINA**

Elis Regina de Fátima Boita

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Bioexperimentação, Área de Concentração em Bioexperimentação, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo (UPF), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestra em Bioexperimentação**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski

**Passo Fundo, RS, Brasil
2015**

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOEXPERIMENTAÇÃO**

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

**PROPRIEDADES DA MATÉRIA PRIMA E DA MASSA DE FARINHA DE TRIGO
ELABORADA PELA REINCORPORAÇÃO DE FARELO DE GRANULOMETRIA
FINA**

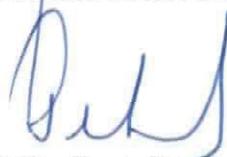
Elaborada por
Elis Regina de Fátima Boita

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestra em Bioexperimentação

Comissão Examinadora



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



Telma Elita Bertolin, Dra., UPF



Tatiana Oro, Dra., UPF

**Passo Fundo, RS, Brasil
2015**

CIP – Catalogação na Publicação

B685p Boita, Elis Regina de Fátima
Propriedades da matéria-prima e da massa de farinha de
trigo elaborada pela reincorporação de farelo de
granulometria fina / Elis Regina de Fátima Boita. – 2015.
78 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski.
Dissertação (Mestrado em Bioexperimentação) –
Universidade de Passo Fundo, 2015

1. Trigo. 2. Reologia. 3. Pão. I. Gutkoski, Luiz Carlos,
orientador. II. Título.

CDU: 613.2

Catalogação: Bibliotecária Marcieli de Oliveira - CRB 10/2113

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pelo Dom da Vida, por me dar forças, saúde e serenidade para continuar sempre, mesmo após cada momento de dor e angústia, e em todas as vezes que pensei que não conseguiria persistir. Também, pela oportunidade de me desafiar e poder deixar alguma marca com intuito de fazer a diferença por onde passar mesmo que em pequenos detalhes.

Ao Prof. grande mestre. Dr Luiz Carlos Gutkoski, pela orientação, amizade, incentivo e paciência. Obrigada pela oportunidade, confiança e por acreditar na possibilidade de realização desse meu sonho.

À coordenação do curso de mestrado em Bioexperimentação e a todos os professores e funcionários envolvidos.

A meiga e querida Tatiane Oro aluna de Pós-Doutorado do curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, obrigada pelo conhecimento, ajuda, orientações e principalmente paciência e compreensão.

Aos colaboradores e bolsistas do laboratório de Cereais do Cepa Tania, Joseane, Josemeri, Kelly, Gabriela, Stéfani, Tais e Isadora pelo apoio e auxílio na realização de análises e apoio em todos os momentos de realização do trabalho.

A Capes pela bolsa de pós-graduação, em tempo parcial de realização do curso de Pós-Graduação em Bioexperimentação.

Enfim a todas as pessoas que colaboraram para o desenvolvimento e realização deste trabalho, com afeto e carinho, sempre na torcida que tudo desse certo. A vocês muito obrigada!

Com carinho!

Elis

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, base, alicerce, estrutura de tudo que sou e represento. Em especial aos pequenos grandes homens da minha vida, maiores tesouros, os filhos João Vítor e Pedro Lucas. Obrigada meus amores por compreenderem... hummm acho até que não... mas aceitarem minha ausência, e mesmo com um olhar de quem queriam dizer fica mãe! Diziam mãe vai com Deus e que o anjinho te proteja, vai terminar logo e a gente vai se comportar. Amor incondicional.

EPIGRAFE

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.

Arthur Schopenhauer

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 TRIGO.....	17
2.2 PROPRIEDADES DA MASSA.....	18
2.3 REINCORPORAÇÃO DE FARELO EM FARINHA DE TRIGO.....	21
3 CAPÍTULO 1	26
Caracterização tecnológica de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina	26
RESUMO	27
ABSTRACT	28
3.1 INTRODUÇÃO.....	29
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.2.1 Obtenção do material.....	31
3.2.2 Delineamento experimental.....	31
3.2.3 Composição química aproximada.....	31
3.2.4 Distribuição granulométrica.....	32
3.2.5 Amido danificado.....	32
3.2.6 Atividade da enzima α -amilase.....	32
3.2.7 Glúten.....	32
3.2.8 Cor.....	33
3.2.9 Farinografia.....	33
3.2.10 Alveografia.....	33
3.2.11 Propriedades de pasta.....	34
3.2.12 Análise estatística.....	34
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.3.1 Composição química.....	34
3.3.2 Distribuição granulométrica.....	36
3.3.3 Teor de glúten, atividade da enzima α -amilase e amido danificado.....	37

3.3.4 Cor da farinha de trigo	38
3.3.5 Propriedades de mistura	40
3.3.6 Propriedades viscoelásticas	41
3.3.7 Propriedades de pasta	43
3.4 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	47
4 CAPÍTULO 2	50
Caracterização tecnológica da massa e de pão de forma de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina	50
ABSTRACT	52
4.1 INTRODUÇÃO	53
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	54
4.2.1 Obtenção do material	54
4.2.2 Delineamento experimental	55
4.2.3 Distribuição granulométrica	55
4.2.4 Teste de panificação	55
4.2.5 Volume de fermentação	56
4.2.6 Elasticidade e extensibilidade	56
4.2.7 Volume específico	56
4.2.8 Determinação das características de qualidade	57
4.2.9 Firmeza	57
4.2.10 Umidade dos pães	57
4.2.11 Cor	57
4.2.12 Análise estatística	58
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.3.1 Distribuição granulométrica	58
4.3.2 Volume de fermentação da massa	59
4.3.3 Elasticidade e extensibilidade	60
4.3.4 Volume específico	61
4.3.5 Características de qualidade dos pães de forma	63
4.3.6 Firmeza	64
4.3.7 Umidade	65
4.3.8 Cor	66
4.4 CONCLUSÕES	68

REFERÊNCIAS	69
5 CONCLUSÕES	71
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
7 REFERÊNCIAS	74

LISTA DE FIGURAS

2 REVISÃO DA LITERATURA

Figura 1. Mecanismo representativo da ação protetora dos grãos integrais ao organismo contra as principais doenças crônicas.....	22
---	----

3 CAPÍTULO 1

Figura 1 Distribuição granulométrica da farinha de trigo refinada e do farelo de trigo.....	36
Figura 2 Valores de cor das farinhas elaboradas com farinha de trigo refinada e reincorporação de farelo.....	40
Figura 3 Propriedades viscoelásticas da amostra de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo.....	43
Figura 4 Propriedades de pasta das amostras de farinha de trigo refinada com adição de farelo.	44

4 CAPÍTULO 2

Figura 1. Distribuição granulométrica da farinha de trigo refinada e do farelo de trigo.....	58
Figura 2 Volume de fermentação das massas de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo.....	59
Figura 3 Resistência à extensão e extensibilidade das massas de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo.	60
Figura 4 Volume específico dos pães de forma elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo.....	61
Figura 5 Pães forma elaborados com reincorporação 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de farelo de granulometria fina.	62
Figura 6 Correlação entre volume do pão e o teor de glúten úmido para pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo.	63
Figura 7 Escore total de pontos de pães de forma elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo.....	64
Figura 8 Firmeza de pães de forma elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo pelo período de 10 dias de armazenamento.....	65

Figura 9 Teor de umidade de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo pelo período de 15 dias de armazenamento.....	66
Figura 10 Cor da crosta dos pães elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo.....	67

LISTA DE TABELAS**3 CAPÍTULO 1**

Tabela 1 Composição química aproximada de farinha com reincorporação de 0, 25, 50, 75 e 100% de farelo de trigo.....	35
Tabela 2 Teor de glúten e atividade da enzima α -amilase das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação de farelo.	37
Tabela 3 Análise de cor das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação de farelo.....	39
Tabela 4 Propriedades de mistura das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo.	40
Tabela 5 Propriedades viscoelásticas da amostra de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo.	42
Tabela 6 Propriedades de pasta das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo.	43

RESUMO

**Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Bioexperimentação
Universidade de Passo Fundo**

PROPRIEDADES DA MATÉRIA PRIMA E DA MASSA DE FARINHA DE TRIGO ELABORADA PELA REINCORPORAÇÃO DE FARELO DE GRANULOMETRIA FINA

Autora: Elis Regina de Fátima Boita

Orientador: Luiz Carlos Gutkoski

Passo Fundo, 18 de setembro de 2015

Os efeitos benéficos do consumo de produtos de panificação elaborados com farinha integral são conhecidos, porém a aceitação limitada devido ao menor volume, textura mais grossa e dureza. Para minimizar os efeitos do farelo nas características tecnológicas é necessário estudar novas formas de produção de farinha de trigo integral. O objetivo deste trabalho foi estudar as propriedades da matéria prima e da massa de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina e a elaboração de pão de forma. O trigo foi submetido à moagem em moinho industrial, obtendo as frações farinha, farelinho e farelo. O farelo foi submetido à nova moagem, homogeneizado com a fração farelinho e reincorporado na farinha em concentrações de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. As amostras de cada tratamento foram acondicionadas em sacas de rafia e armazenadas em câmara fria até a realização das análises laboratoriais. O experimento foi delineado de forma inteiramente casualizado com uso de cinco tratamentos e realizado as análises, em triplicata de composição química centesimal, granulometria, cor da farinha, amido danificado, número de queda, glúten, análise rápida de viscosidade, alveografia, farinografia, volume de fermentação, resistência à extensão, extensibilidade e teste de panificação. Nos pães de forma foram realizadas as avaliações de volume específico, firmeza, teor de umidade cor da crosta e cor do miolo. A significância dos dados foi testada pela análise de variância e nos modelos significativos as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança. A composição química influencia nas características tecnológicas das farinhas de forma proporcional com a reincorporação de farelo de granulometria fina. A redução do tamanho de partícula do farelo minimiza os efeitos negativos exercido na reologia da massa. As propriedades de pasta das farinhas diminuem proporcionalmente com o aumento do teor de farelo, atribuído à maior absorção de água pelas fibras, presentes em maior quantidade e o menor teor de amido. O volume específico reduz com o aumento do teor de farelo das amostras. Os valores de firmeza e umidade influenciam na vida de prateleira podendo ser utilizado como indicadores de qualidade tecnológica em pães de forma. As características observadas nas farinhas com incorporação de farelo de granulometria fina podem ser atribuídas em maior extensão ao efeito de diluição da matriz proteica causado pelas fibras. Mais resultados relativos ao efeito do tamanho de partícula de farinhas integrais nas propriedades da massa e na qualidade de produtos de panificação ainda precisam ser investigados.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, moagem, tamanho de partícula, reologia, textura.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Bioexperimentação
Universidade de Passo Fundo

PROPERTIES OF THE RAW MATERIAL AND OF DOUGH OF WHEAT FLOUR ELABORATE BY THE REINCORPORATION OF FINE GRANULOMETRY BRAN

Authoress: Elis Regina de Fátima Boita

Advisor: Luiz Carlos Gutkoski

Passo Fundo, September 18th, 2015

The beneficial effects of consumption of baking goods made with whole wheat flour are known, but the limited acceptance due to lower volume, thicker texture and hardness. To minimize the effects of the bran in technological characteristics is necessary to consider new ways of whole wheat flour production. The objective of this work was to study the properties of raw materials and of the dough of wheat flour elaborate by the reincorporation of gran of fine granulometry and elaboration of loaf bread. Wheat was submitted at grinding in an industrial mill, obtaining the flour fraction, semolina and bran. The bran was subjected to new grinding, homogenized with semolina fraction and reincorporated in flour at the concentrations of 0%, 25%, 50%, 75% and 100%. Samples from each treatment were packed in raffia bags and stored in cold storage until the completion of laboratory tests. The experiment was designed in randomized order with use of five treatments and accomplished the analyzed in triplicate, proximate chemical composition, grain size, color, damaged starch, falling number, gluten, rapid analysis of viscosity, alveography, farinography, volume fermentation resistance to extension, extensibility and baking test. In the loaf breads were carried out the specific volume assessments, firmness, moisture content, crust color and crumb color. The significance of data was tested by the analysis of variance and in significant models means compared each other by the Tukey test at 95% confidence interval. The chemical composition influences the technological characteristics of flours in proportion with the reincorporation of bran of fine granulometry. The reduction of bran particle size minimizes the negative effects exerted in dough rheology. Pasting properties of flours diminish proportionally with the increase bran content, attributed to the increased absorption of water by the fibers, present in greater quantity and low starch content. The specific volume decreases with increasing content of the bran samples. The firmness and moisture values influence the shelf life can be used as indicators of technological quality in loaves of bread. The characteristics observed in flour with incorporation of bran of fine granulometry can be attributed in greater extension by dilution effect of protein matrix caused by fibers. More results of the effect of particle size about wholemeal dough properties and quality of baking products still need to be investigated.

Key words: *Triticum aestivum*, grinding, particle size, rheology, texture.

1. INTRODUÇÃO

A farinha de trigo é o principal ingrediente dos produtos de panificação, sendo obtida pela moagem do grão a uma taxa de 75% extração, em média. O restante do grão é denominado farelo, constituído pelas frações pericarpo, aleurona, germe e parte do endosperma, sendo destinado prioritariamente para uso na alimentação animal. A quantidade de trigo inteiro utilizado na elaboração de produtos de panificação é inferior a 5% no Brasil, com viés de crescimento devido ao apelo na promoção da saúde, como cereais integrais, fibras e alimentos funcionais.

O trigo é utilizado na elaboração de pães, biscoitos, bolos, massas e demais alimentos amiláceos que fazem parte da base da pirâmide alimentar. O consumo vem sendo incentivado pelo Guia Alimentar da População Brasileira, especialmente na forma integral. A composição química do grão de trigo é variável em função de fatores genéticos e ambientais. Os constituintes carboidratos e proteínas, presentes em maiores quantidades, juntamente com as enzimas são os principais responsáveis pela funcionalidade da massa. A elaboração de produtos de panificação é possível devido às propriedades elasticidade e consistência da massa apresentadas pelas proteínas do glúten do trigo.

Os produtos de trigo integral contêm componentes benéficos à saúde estando os constituintes concentrados nas partes externas do grão. Na farinha integral, as frações germe e pericarpo contribuem com 83% de fenólicos e 79% de flavonóides (1). Os efeitos benéficos do consumo de produtos elaborados com farinha de trigo integral são conhecidos, porém a aceitação pelo consumidor ainda é limitada. Em pães de forma, o farelo de trigo altera as propriedades reológicas da massa provocando redução de volume específico e aumento da firmeza do miolo, características marcantes e que dificultam o maior consumo destes produtos pela população.

Para minimizar os efeitos do farelo nas características funcionais de pão de forma é necessário estudar novos ingredientes e formas de produção de farinha de trigo integral. A farinha de trigo integral é produzida pela moagem do grão inteiro e ou extração de farinha e reincorporação de farelo. Os processos de obtenção de farinha integral ainda apresentam vários desafios para serem investigados. A moagem de trigo para obtenção de farinha é bem estabelecida, porém na produção de farinha integral tem-se necessidade de maiores estudos, buscando tecnologias que possam extrair os componentes do trigo benéficos à saúde e separar os interferentes da funcionalidade da massa. O tamanho de partículas do farelo é um fator

importante a ser estudado, pois afeta as características tecnológicas da farinha de trigo integral e a sua aplicação em produtos de panificação (2,3,4).

A produção de farinha de trigo integral de menor granulometria e a utilização em pão de forma precisa ser investigada, incluindo efeitos do tamanho de partícula nas propriedades da massa e nas características de panificação. Dentro deste contexto foi realizado este trabalho que objetivou estudar propriedades da matéria prima e da massa de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina através da realização de avaliações físicas, químicas, reológicas e funcionais. A farinha de trigo de extração normal e as farinhas de trigo com 25%, 50%, 75% e 100% de reincorporação de farelo de granulometria fina foram caracterizadas e utilizadas no estudo da massa e do pão de forma.

A dissertação compreende, além desta introdução, uma breve revisão da literatura sobre o tema, mais dois capítulos em forma de artigos científicos. No capítulo um foi estudada a caracterização tecnológica de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina, enquanto que no dois a caracterização tecnológica da massa e de pão de forma de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum*, L.) é o segundo cereal mais produzido no mundo, representando cerca de 722 milhões de toneladas com significativo peso na economia agrícola global. No Brasil, o trigo é cultivado nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A produção brasileira é de 6 milhões de toneladas, concentrada nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. A produção tem oscilado ao longo dos anos ocorrendo grande redução no início da década de 90 para menos de 2 milhões de toneladas. O Brasil possui área e condições de ser auto-suficiente em trigo (5). O consumo de trigo no país tem se mantido em torno de 11 milhões de toneladas ao ano, com necessidade de importação de 5 milhões de toneladas para atender a demanda interna (6).

O trigo é utilizado na alimentação humana tanto em países produtores quanto nos que a cultura não é adaptada para a produção. O consumo de trigo nos países tropicais tem aumentado na ordem de 2 a 5% ao ano e paralelamente, as importações também, já que sua produção interna não atende à demanda de consumo. O Brasil está incluso nesta relação e se tornou um dos maiores importadores mundiais, superando países que ocupavam lugar entre os maiores compradores, como China, Japão, Egito e Irã (7).

A composição química do trigo é variável em função de fatores genéticos e ambientais. Dos constituintes do grão se destacam proteínas e carboidratos. As frações proteicas, gliadina e glutenina são responsáveis pela formação do glúten e juntamente com amido, lipídios e demais compostos hidrossolúveis são essenciais para garantir o potencial de panificação (8). Na elaboração de produtos de panificação, a farinha de trigo tem a função de fornecer as proteínas formadoras do glúten, conferindo elasticidade, consistência à massa e retenção de gás carbônico (CO₂) oriundo da fermentação biológica (9).

A composição química do grão de trigo afeta suas características funcionais e tecnológicas e, juntamente com as propriedades estruturais e a população microbiológica, define a qualidade da farinha de trigo (10). A farinha de trigo é composta por amido (70 a 75%), água (12 a 14%), proteínas (8 a 16%) e outros constituintes menores, como polissacarídeos não amiláceos (2 a 3%), lipídios (2%) e cinzas (1%). As quantidades e as diferentes composições a partir de diversas cultivares, influenciam a qualidade da farinha de trigo (11). Por isso, como forma de facilitar a compreensão do comportamento do trigo nos processos tecnológicos é importante conhecer os constituintes do grão.

A farinha de trigo é utilizada na elaboração de produtos de panificação como pães, biscoitos, bolos e massas, sendo o obtido a partir da espécie *estivum* ou de outras espécies do gênero *Triticum* conhecidas (exceto *durum*), por meio do processo de moagem (12). As propriedades da farinha de trigo são variáveis devido ao grande número de cultivares existentes, bem como as condições de clima e solo de cada região de cultivo, sendo necessário determinar para a indicação de uso final (13,14).

A farinha de trigo, por ser um produto do beneficiamento de matéria-prima alimentar em estado bruto é passível de sofrer alterações na sua qualidade nutricional e tecnológica durante as etapas de processamento. O mercado do trigo, seja ele na forma de grãos ou de farinha processada é definido por diferenças de peso do hectolitro, força geral do glúten, tempo de mistura, estabilidade da massa, porcentagem de mistura de grãos danificados, presença de micotoxinas e de resíduos de agrotóxicos (15).

No Brasil, 55% do trigo se destina para produção de farinha para produção de pão. O percentual restante se divide em 17%, para uso doméstico, 15% para a produção de massas alimentícias, 11% para a fabricação de biscoitos e 2% para outros usos, como produtos de confeitaria (7).

2.2 PROPRIEDADES DA MASSA

A massa é um sistema viscoelástico complexo dependente do tempo e as suas propriedades reológicas são de difícil caracterização. Ela apresenta comportamento reológico intermediário entre um líquido viscoso e um sólido elástico. A massa pode ser esticada como uma borracha, mas ao contrário da borracha, que se recupera completamente após a liberação, a massa se recupera parcialmente. A elasticidade é uma propriedade importante em massa de pão, por ser considerado um requisito essencial para reter os gases formados durante a fermentação. A expansão da massa e a retenção de gás durante a fermentação possibilitam a obtenção de pães com textura adequada e mastigáveis (16, 17). A palavra viscoelasticidade significa que o material apresenta simultaneamente propriedade de elasticidade de um sólido ideal e propriedade de fluidez de um líquido ideal (18). A palavra viscoelástico também é usada para materiais que são mais sólidos do que líquido. No sólido viscoelástico há uma deformação instantânea quando uma força de deformação é aplicada e o material continua a deformar enquanto a força for comprimida contra ele. Quando a força é removida há alguma recuperação da forma original (componente elástico), mas não recuperação completa (componente viscoso) devida o comportamento reológico.

A reologia, ciência que estuda o escoamento e a deformação dos materiais tem por objetivo obter a descrição quantitativa das propriedades mecânicas, a informação relacionada com a estrutura molecular, a composição do material, caracterizar e simular o desempenho dos materiais durante o processamento e controlar a qualidade dos produtos (19). As propriedades reológicas de alguns materiais podem ser descritas por um único valor. Em farinha de trigo, as medições são realizadas com emprego do aparelho farinógrafo e do mixógrafo e referidas como medições reológicas. Estes instrumentos medem como a massa se deforma e flui estando ajustados para avaliar as propriedades da massa. O problema com o uso desses instrumentos reológicos é a impossibilidade de definir a tensão sobre a amostra em qualquer momento durante o período do teste (20,16).

As propriedades reológicas da massa são influenciadas pela dureza do grão, granulometria da farinha e hidratação e determinam o comportamento durante o manuseio mecânico por afetar a formação de alvéolos e o volume de produtos de panificação (21). Isto é influenciado pela participação do amido, de proteínas e água, onde a parte proteica da farinha tem a habilidade em formar a rede viscoelástica contínua do glúten, desde que haja água suficiente para a hidratação e energia mecânica para efetuar a mistura (22).

A massa de pão pode ser definida como um sistema formado por diferentes componentes e fases, com uma rede proteica elástica e extensível e uma fase aquosa contínua no qual os grânulos de amido estão incorporados. Uma terceira fase é formada por alvéolos gasosos formados durante a mistura. Os alvéolos se expandem pelo gás carbônico produzido durante a fermentação, quando a massa é transformada em uma esponja (23).

Na elaboração de pães o trigo é o cereal mais utilizado (24). Isto ocorre pelo fato de a indústria moageira ter estabelecido este grão como principal ingrediente (3) e porque, dentre as farinhas de cereais, somente o trigo tem a capacidade de formar massa viscoelástica tridimensional, quando misturada com água, devido o desenvolvimento do glúten com propriedades capazes de formar massa.

O pão deve ser fabricado com ingredientes de qualidade, isenta de matérias estranhas e em perfeito estado de conservação, podendo a farinha ser enriquecida com vitaminas e minerais. É proibida a fabricação de pão redondo com peso superior a dois quilos e o emprego de corantes artificiais. É permitido o fabrico de pães com adição de outras farinhas, farelos desde que designado à origem.

A primeira etapa de processamento é a mistura dos ingredientes da formulação e a realização do amassamento até o máximo desenvolvimento do glúten. A massa passa por vários estágios durante a mistura com alterações na aparência, de úmida e pegajosa no início,

passa a apresentar aspecto firme, liso e homogêneo no final (25). Inicialmente, a farinha absorve água e a massa começa a se formar, de forma desuniforme. À medida que se fornece energia à massa, através da mistura, a rede de glúten vai se desenvolvendo pelo estabelecimento de interações químicas entre as cadeias proteicas. Estas ligações vão se quebrando e se restabelecendo continuamente, tornando a estrutura cada vez mais forte e elástica. No ponto de desenvolvimento máximo, a massa apresenta capacidade de ser finamente esticada sem se romper, devido a viscoelasticidade do glúten (26,25). Se a mistura prosseguir com o fornecimento contínuo de energia, as ligações da rede proteica começam a se quebrar e não mais se refazer, enfraquecendo o glúten. A massa libera água e vai se tornando progressivamente mole e extensível (25).

Os grânulos de amido vão ficando incrustados na matriz proteica do glúten, à medida que este se desenvolve durante a mistura. Estudos afirmam que se forma entre eles um complexo, através de forças eletrostáticas relativamente fortes (25). Outra função da mistura, além do desenvolvimento do glúten é a incorporação de ar na massa, em forma de bolhas pequenas e bem distribuídas, condição importante para obter boa granulometria de miolo no pão.

As farinhas com teor de proteína mais alto aumentam o tempo de mistura, pois demoram mais para se hidratar e desenvolver, além de resistir por mais tempo ao amassamento. A água deve ser adicionada em quantidade suficiente para hidratar a farinha e fazer com que a massa atinja consistência adequada de manipulação, podendo ser definido pelo farinógrafo (9). O amido influencia na absorção de água pela farinha em função da quantidade presente, teor de grânulos de amido danificados e de acordo com (27) o tamanho dos grânulos.

Durante a fermentação da massa ocorre expansão da matriz glúten-amido de forma biaxial, devido ao excesso de pressão produzido nas células de gás por difusão do dióxido de carbono durante o crescimento e por expansão térmica dos gases durante o cozimento. Isto causa um enfraquecimento das paredes das células de gás podendo causar rompimento caso ela continue a expandir ao longo desta região pouco espessa (28). No entanto, se a tensão nesta região aumentar mais que a deformação, a matriz glúten-amido resiste à deformação e o gás continua a se expandir ao longo de partes mais espessas da parede celular. Este aumento localizado de estresse em resposta à tensão em prevenção à ruptura da parede das células de gás é uma propriedade reológica necessária para a obtenção de pão com maior volume (29).

As propriedades da massa mudam ao longo do tempo. No final do processo de mistura ela apresenta características viscoelásticas, consideradas ideais para o processo subsequente.

O período de descanso modifica essas propriedades, deixando a mesma mais flexível. A divisão e o boleamento revertem essa propriedade em certo grau e a massa se torna mais elástica. O período de fermentação intermediário reduz a elasticidade, possibilitando a modelagem adequada no formato de um pão. Na fermentação as características são modificadas devido a formação de etanol e dióxido de carbono, pela ação de aditivos e pela ação de enzimas (9).

O pão é obtido pela cocção, em condições tecnologicamente adequadas, de uma massa, fermentada ou não, preparada com farinha de trigo e ou outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas as mesmas e água, podendo conter outros ingredientes (30). É considerado um dos alimentos processados mais antigos, com provável origem no Oriente Médio. Os produtos de panificação evoluíram e adquiriram muitas formas, com características peculiares (31). Em sua composição encontram-se água, carboidratos, proteínas, fibras, lipídios, minerais, vitaminas, compostos bioativos.

O pão é um dos alimentos mais consumido e componente básico na alimentação dos brasileiros, sendo francês o mais consumido (58% da produção de pães), seguido de pão de forma (32). Entretanto, o mercado de pães especiais, que agrega grãos integrais, farelos, erva e outros ingredientes com apelo nutricional, apresenta crescimento estimado em 15% para os próximos cinco anos, contrastando com menos de 10% previstos para o restante do setor de panificação (33).

As exigências do consumidor demandam por produtos fermentados frescos e seguros, com sabor e aroma adequados. Os métodos de avaliação de qualidade do pão envolvem qualidade interna, qualidade externa e qualidade associada à textura e palatabilidade, nestes incluídos os quesitos sabor e aroma. Os defeitos na qualidade da farinha ou no tempo de fermentação levam a anormalidades no produto, tanto na massa quanto no pão assado. O tempo insuficiente de fermentação se manifesta em um glúten duro e de aspecto gomoso, de difícil modelagem, resultando em produto de baixo volume, com estrutura alveolar densa e miolo firme. O excesso de tempo de fermentação se manifesta pela perda de gás carbônico e a pressão da massa tende a reduzir tamanho ficando abaixo do volume normal (31).

2.3 REINCORPORAÇÃO DE FARELO EM FARINHA DE TRIGO

A alimentação rica em cereais integrais está associada à proteção contra o desenvolvimento de doenças relacionadas com a alimentação, como obesidade, doenças cardiovasculares, diabetes tipo II e câncer (34,35). No trigo (*Triticum aestivum L.*), esta

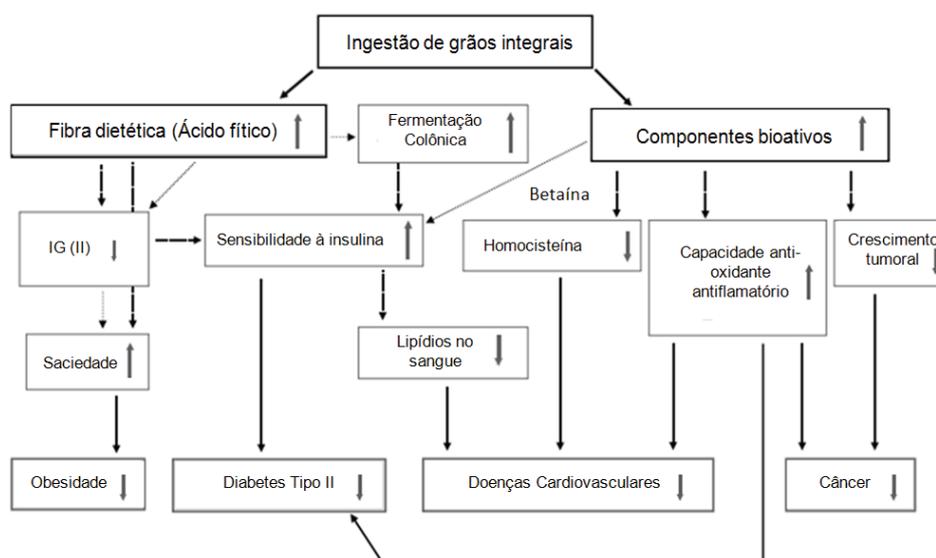
influência benéfica está relacionada com a fibra alimentar e compostos bioativos presentes nas camadas externas do grão (36).

As camadas externas do grão de trigo são recuperadas em uma fração denominada farelo durante o processo de moagem para produção de farinha refinada. Na farinha de trigo integral, as frações do germe e pericarpo contribuem com 83% do total de compostos fenólicos, 79% do total de flavonóides, 78% do total de zeaxantina, 51% do total de luteína e 42% do total de criptoxantina. O pericarpo, camada de aleurona e testa, representando 4-5, 6-9 e 1% do grão de trigo respectivamente (37). Estas frações são responsáveis pelos benefícios que o trigo integral oferece quando consumido como parte da dieta (1).

Os benefícios ao organismo humano devido à ingestão de farelo estão relacionados à sua composição rica em fibras, vitaminas, minerais e compostos fitoquímicos com ação biotiva (38). Os efeitos fisiológicos podem ser divididos em efeitos nutricionais, efeitos mecânicos, principalmente sobre o trato gastrointestinal, devido o conteúdo de fibras e efeitos antioxidantes, decorrentes dos fitoquímicos presentes, tais como compostos fenólicos (39).

(36) representou o mecanismo de prevenção no organismo contra as principais doenças crônicas relacionadas ao consumo de grãos integrais, ilustrado na Figura 1. O autor considerou a funcionalidade das fibras e compostos bioativos presentes nos grãos integrais e sua proteção contra as doenças de obesidade, diabetes tipo II doenças cardiovasculares e câncer.

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



Legenda: IG: Índice Glicêmico.

Fonte: Adaptado de Fardet (2010).

A relação das fibras com a prevenção da obesidade é explicada dentro do mecanismo pelo aumento da sensação de saciedade, provocado pela redução do índice glicêmico, fibras promovem ainda a elevação da sensibilidade à insulina e redução de lipídios no sangue, fatores que previnem a diabetes tipo II e doenças cardiovasculares. Os compostos bioativos além de elevar a sensibilidade à insulina para prevenir a diabetes tipo II, são apresentados como provedores da diminuição dos níveis de homocisteína e lipídios no sangue, aumento do estado antioxidante e anti-inflamatório, diminuindo assim o crescimento de tumores e prevenindo doenças cardiovasculares e câncer (36).

Entre os compostos fitoquímicos do trigo, os compostos fenólicos ligados são considerados como tendo uma maior capacidade antioxidante, sua resistência a digestão gastrointestinal, juntamente com materiais de parede celular proporcionam a sua absorção no plasma sanguíneo durante a digestão pela microflora intestinal (40). O principal ácido fenólico é o ácido ferúlico, encontra-se presente em maior quantidade na forma insolúvel estéril na parede celular nos tecidos do pericarpo e aleurona (41).

Apesar dos benefícios à saúde, o farelo de trigo quando reincorporado na farinha refinada afeta consideravelmente o comportamento reológico da massa. As fibras presentes no farelo influenciam no equilíbrio da água, bem como na retrogradação do amido (42). A alta capacidade de absorção de água pelas fibras causa a redução da disponibilidade de água para o glúten durante o desenvolvimento da massa. Da mesma forma, afeta a distribuição de umidade entre os constituintes da massa, resultando em propriedades reológicas alterada e tempo de desenvolvimento prolongado (43). O conjunto de alterações, tanto no comportamento reológico, como nas etapas de fermentação e cozimento proporcionam efeitos na qualidade dos produtos de panificação, os mais notáveis são a diminuição do volume do pão, modificações de textura, variações na aparência e alteração pronunciada no sabor (4).

O uso de farinha integral em produtos de panificação deve ser regulamentado com legislação específica, visando a correta comunicação entre indústria e o consumidor. No Brasil, os esforços realizados pela pesquisa confrontam com a legislação para esta matéria prima. A Resolução - CNNPA nº 12, de 24 de julho 1978 definiu farinha integral como o produto obtido a partir do cereal limpo, com uma extração máxima de 95% e com teor máximo de cinzas de 1,75% (44). Esta resolução foi revogada pela Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996 e, esta, definiu farinha integral, como aquela obtida a partir do cereal limpo e com teor máximo de cinzas de 2,0% na base seca, para uso doméstico e com teor máximo de cinzas de 2,5% na base seca, para uso industrial (45). Para farinha integral de trigo, o país não dispõe de norma específica.

No segmento de panificação, parte das indústrias brasileiras baseiam-se na Resolução RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000, que definiu pão integral como o produto preparado, obrigatoriamente, com farinha de trigo e farinha de trigo integral e ou fibra de trigo e ou farelo de trigo (46). Esta resolução foi revogada sendo substituída pela Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, que define pães como os produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (12). Esta resolução não menciona farinhas integrais ou pães integrais. Com a entrada do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento como agência reguladora da comercialização de farinha de trigo no Brasil foi publicado pelo MAPA a instrução normativa nº 8, de 2 de junho de 2005, aprovando o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo (12). Nesta normativa farinha de trigo integral é definida como 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 germe. Esta legislação oferece poucas informações a respeito de identidade e qualidade da farinha integral, conferindo limites apenas para teor máximo de cinzas, teor mínimo de proteínas, umidade máxima e valor máximo para acidez graxa, ou seja, o Brasil possui uma lacuna quando se trata de definição legal para farinhas integrais e para pães integrais, que são os principais produtos fabricados a partir destas farinhas.

As farinhas integrais consistem da moagem de grãos e em sua totalidade fazem parte do produto final (47), possuindo granulometria heterogênea. A AACCI Internacional definiu farinha de trigo integral como sendo preparada a partir de trigo de modo que as proporções de farelo, germe e endosperma permaneçam inalteradas (48). No Brasil, como não há legislação específica que garanta que a presença proporcional dos constituintes do grão de trigo, também pode ser considerada farinha integral aquela com adição de parte do farelo à farinha de trigo. O farelo apresenta granulometria bem superior à farinha, aumentando a desuniformidade no tamanho de partículas, o que afeta as propriedades da massa e a funcionalidade dos produtos de panificação fermentados (3).

As partículas de farelo também podem interagir diretamente com os elementos estruturais da rede de glúten, diminuindo a extensibilidade da massa e prejudicando a retenção de gás (49). Estes efeitos podem levar a um baixo volume específico do pão e qualidade de cozimento inferior. As interações entre o farelo e as proteínas do glúten podem estar

relacionadas a uma combinação de mecanismos físicos e químicos e ter efeito diferenciado com a variação de tamanho de partícula do farelo (50). A influência do tamanho das partículas do farelo sobre as propriedades tecnológicas têm sido estudada há muitos anos. Inicialmente os estudos relataram que a redução do tamanho das partículas de farelo poderiam reduzir os efeitos negativos na massa (51). Dados mais recentes sobre o efeito do tamanho das partículas nas propriedades tecnológicas e sensoriais (52) apontam que a influência negativa do tamanho das partículas de farelo na qualidade dos produtos de panificação é reforçada quando o tamanho é reduzido.

As partículas pequenas apresentam maior superfície de contato, proporcionando assim mais interações entre os compostos fitoquímicos, em especial os monômeros de ácido ferúlico ligados ao material da parede celular insolúveis, podem ser capazes de reagir com as proteínas do glúten, alterando sua funcionalidade. Além da superfície de contato, maiores interações com as proteínas do glúten também são atribuídas ao aumento na quantidade de compostos fitoquímicos reativos, que são liberados durante o processo de moagem devido à ruptura celular das camadas externas, em especial a camada de aleurona (52).

Os efeitos da adição de farelo nas propriedades da massa e do pão têm sido estudados com ênfase na ação de pentosanas sobre a qualidade do pão (23,53,54). (52) propuseram que as interações entre fibras e proteínas do glúten são responsáveis pelas alterações na estrutura dos pães elaborados com farelo. (55) relataram que alterações no teor de água da massa pode reduzir o volume do pão e aumentar a dureza do miolo em função da quantidade de farelo reincorporado na farinha de trigo.

Em estudo realizado por (56) foi verificado que a combinação entre as características físicas, químicas e reológicas dos grãos e das farinhas foram determinantes na qualidade tecnológica das farinhas refinadas analisadas, porém para a avaliação de farinhas integrais ou mesclas destas com farinhas refinadas, os atributos de qualidade tecnológica diminuíram à medida que foi aumentado o teor de farinha integral nas mesclas. Os métodos empregados mostraram-se efetivos em avaliar farinhas integrais, sendo necessários pequenas modificações nas análises de farinografia e glúten, porém para alveografia foram encontradas maiores dificuldades.

3. CAPÍTULO 1

Caracterização tecnológica de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina

Technological characterization of wheat flour prepared by the reincorporation of fine granulometry bran

Elis Regina de Fátima Boita¹, Tatiana Oro², Joseane Bressiani², Gabriela Soster Santetti³,
Telma Elita Bertolin², Luiz Carlos Gustkoski²

(Artigo submetido à Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira)

¹ Programa de Pós-Graduação em Bioexperimentação, Universidade de Passo Fundo, BR 285, CEP 99052-900, Passo Fundo, RS, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, BR 285, CEP 99052-900, Passo Fundo, RS, Brasil.

³ Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, BR 285, CEP 99052-900, Passo Fundo, RS, Brasil.

* Corresponding to: Tatiana Oro, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, BR 285, CEP 99052-900, Passo Fundo, RS, Brasil. E-mail: tatianaoro@hotmail.com

RESUMO

Os benefícios ao organismo humano devido à ingestão de farelo estão relacionados à sua composição rica em fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos. O farelo de trigo quando reincorporado na farinha afeta suas propriedades físico-químicas. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características físicas, químicas e reológicas de farinha de trigo com reincorporação de farelo de tamanho reduzido de partículas. O trigo foi submetido à moagem em moinho industrial, obtendo as frações farinha, farelinho e farelo. O farelo foi submetido à nova moagem, homogeneizado com a fração farelinho e reincorporado na farinha em concentrações de 0% (100% de farinha), 25% (93,75% de farinha e 6,25% de farelo), 50% (87,5% de farinha e 12,5% de farelo), 75% (81,25% de farinha e 18,75% de farelo) e 100% (75% de farinha e 25% de farelo). As amostras foram homogeneizadas constituindo os tratamentos utilizados neste estudo. As amostras de cada tratamento foram acondicionadas em sacas de ráfia e armazenadas em câmara fria até a realização das análises laboratoriais. O experimento foi delineado de forma inteiramente casualizado com uso de cinco tratamentos e realizado as análises, em triplicata, de composição química centesimal, granulometria, cor, amido danificado, número de queda, glúten, análise rápida de viscosidade, alveografia e farinografia. A significância dos dados foi testada pela análise de variância e nos modelos significativos as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança. A composição química influencia nas características físico-químicas e reológicas das farinhas de forma proporcional em função da reincorporação de farelo de granulometria fina, sendo determinante na qualidade tecnológica dos tratamentos estudados. A redução do tamanho de partícula do farelo minimiza os efeitos negativos exercido na reologia da massa. Os parâmetros de alveografia e de farinografia das farinhas diminuem proporcionalmente com o aumento do teor de farelo, atribuído à maior absorção de água pelas fibras, presentes em maior quantidade e diluição da matriz proteica devida o menor teor de glúten. As propriedades de pasta das farinhas diminuem proporcionalmente com o aumento do teor de farelo, atribuído à maior absorção de água pelas fibras, presentes em maior quantidade e o menor teor de amido. As características observadas nas farinhas com incorporação de farelo de granulometria fina podem ser atribuídas em maior extensão ao efeito de diluição da matriz proteica causado pelas fibras.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, moagem, tamanho de partícula, reologia.

ABSTRACT

The benefits to the human body due to bran intake are related to its composition rich in fiber, vitamins, minerals and bioactive compounds. Wheat bran when reincorporated in flour affects their physicochemical properties. The objective of this study was to evaluate properties the physical, chemical and rheological of wheat flour, with reincorporation of bran of fine granulometry. Wheat was submitted to grinding in industrial mill, obtaining the fractions flour semolina and bran. The bran was subjected to new grinding, homogenized with semolina fraction and reincorporated in flour at the concentrations of 0% (100% flour), 25% (93.75% 6.25% flour and meal), 50% (87.5% flour and bran 12.5%), 75% (81.25% flour and bran 18.75%) and 100% (75% flour and 25% bran). The samples were homogenized constituting the treatments used in this study. Samples from each treatment were packed in raffia bags and stored in cold storage until the completion of laboratory tests. The experiment was designed in randomized order with use of five treatments and accomplished the analyzed in triplicate, proximate chemical composition, grain size, color, damaged starch, falling number, gluten, rapid analysis of viscosity, alveography and farinography. Significance of data was tested by the analysis of variance and in significant models means compared each other by the Tukey test at 95% confidence interval. The chemical composition influences the physical and chemical characteristics and rheological of flours proportionally in a function of reincorporation of bran of fine granulometry, determining in technological quality of the treatments studied. The reduction of bran particle size minimizes the negative effects exerted in dough rheology. The parameters alveography and of farinography of flours decrease proportionally with the increase bran content, attributed to larger absorption of water by the fibers, present in greater quantity and dilution of the protein matrix due to the lower gluten content. Pasting properties of flours diminish proportionally with the increase bran content, attributed to the increased absorption of water by the fibers, present in greater quantity and low starch content. The characteristics observed in flour with incorporation of bran of fine granulometry can be attributed in greater extension by dilution effect of protein matrix caused by fibers.

Key-words: *Triticum aestivum*, grinding, particle size, rheology.

3.1 INTRODUÇÃO

A alimentação baseada em cereais integrais está associada à menor incidência de doenças crônicas não transmissíveis como obesidade, doenças cardiovasculares, diabetes tipo II e câncer (JACOBS et al., 1988; ANDERSON, 2004). No trigo (*Triticum aestivum L.*), esta influência benéfica está relacionada com a fibra alimentar e compostos bioativos presentes nas camadas externas do grão (FARDET, 2010).

O processo de moagem para obtenção de farinha separa o endosperma amiláceo das camadas mais externas do grão em uma fração denominada farelo e a quantidade obtida, varia em função da taxa de extração. O farelo consiste em um material complexo de granulometria e composição própria, composto pelo pericarpo, camada de aleurona, testa e germe, representando 4-5%, 6-9%, 1% e 2,5% do grão de trigo, respectivamente (HEMERY et al., 2007). O farelo é utilizado principalmente na ração animal, com pequenas quantidades para fins alimentares.

Os benefícios ao organismo humano devido à ingestão de farelo estão relacionados à sua composição rica em fibras, vitaminas, minerais e compostos fitoquímicos com ação biotiva (GÓMEZ et al., 2011). Os efeitos fisiológicos podem ser divididos em nutricionais, mecânicos, principalmente sobre o trato gastrointestinal devido o conteúdo de fibras e antioxidantes, decorrentes dos fitoquímicos presentes, tais como compostos fenólicos (STEVENSON et al., 2012). Entre os compostos fitoquímicos do trigo, os fenólicos ligados são considerados como tendo uma maior capacidade antioxidante, sua resistência a digestão gastrointestinal, juntamente com materiais de parede celular proporcionam a sua absorção no plasma sanguíneo durante a digestão pela microflora intestinal (WANG et al., 2013). O principal ácido fenólico do trigo é o ferúlico e se encontra presente em maior quantidade na forma insolúvel estéril na parede celular nos tecidos do pericarpo e aleurona. (LIU, 2007).

Apesar dos benefícios à saúde, o farelo de trigo quando reincorporado na farinha afeta consideravelmente o comportamento reológico da massa, pois as frações externas do grão influenciam na absorção de água, bem como na retrogradação do amido (SIVAN et al., 2010). A alta capacidade de absorção de água pelas fibras reduz a disponibilidade de água para o glúten durante o desenvolvimento da massa. Com isto, a distribuição de umidade entre os constituintes da massa é afetada, alterando as propriedades reológicas e tempo de desenvolvimento da massa (ROSELL et al., 2001). O conjunto de alterações, tanto no comportamento reológico, como nas etapas de mistura, fermentação e cozimento proporcionam efeitos indesejáveis na qualidade dos produtos de panificação e entre os

notáveis estão diminuição do volume do pão, modificações de textura, variações na aparência e alteração pronunciada no sabor (ROSA et al., 2013).

As partículas de farelo também podem interagir diretamente na formação da rede de glúten, diminuindo a extensibilidade da massa e prejudicando a retenção de gás carbônico formado durante a fermentação (BOCK et al., 2013). Estes efeitos podem levar a um menor volume específico e qualidade inferior de cozimento do pão. As interações entre farelo e proteínas do glúten podem estar relacionadas a uma combinação de mecanismos físicos e químicos e ter efeito diferenciado com a variação de tamanho de partículas do farelo (WANGY, 2011).

A influência do tamanho das partículas do farelo sobre as propriedades tecnológicas têm sido estudada por vários autores (PEDERSEN; EGGUM, 1983; KUAKPETOON et al., 2001; KIHMBERG et al., 2004). Os estudos iniciais relataram que a redução do tamanho de partículas de farelo poderiam reduzir os efeitos negativos na massa (ZHANG, MOORE, 1999). Em estudos posteriores Noort et al. (2010) apontaram que a influência negativa do tamanho de partículas de farelo nas propriedades tecnológicas e sensoriais dos produtos de panificação aumenta quando o tamanho é reduzido.

As partículas pequenas de farelo apresentam maior superfície de contato, proporcionando assim maiores interações entre os compostos fitoquímicos, em especial os monômeros de ácido ferúlico ligados ao material da parede celular insolúvel, capazes de reagir com as proteínas do glúten, alterando a funcionalidade da massa. Além da superfície de contato, maiores interações com as proteínas do glúten também são atribuídas ao aumento na quantidade de compostos fitoquímicos reativos, que são liberados durante o processo de moagem devido à ruptura celular das camadas externas, em especial a camada de aleurona (NOORT et al., 2010).

Efeitos da adição de farelo nas propriedades da massa e do pão têm sido estudado com ênfase na ação de pentosanas sobre a qualidade do pão (Wang et al., 2003a; Wang et al., 2004a e Wang et al., 2004b). Noort et al. (2010) propuseram que as interações entre fibras e proteínas do glúten são responsáveis pelas alterações na estrutura dos pães elaborados com farelo. Curti et al. (2013) relataram que alterações no teor de água da massa pode reduzir o volume do pão e aumentar a dureza do miolo em função da quantidade de farelo reincorporado na farinha de trigo.

Em função dos benefícios do consumo de alimentos ricos em fibras e compostos bioativos e considerando a disponibilidade de farelo de trigo, torna-se necessário a avaliar os efeitos da reincorporação de farelo de granulometria fina na farinha de trigo nas propriedades

da matéria prima e da massa em produtos de panificação. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características físicas, químicas e reológicas de farinha de trigo com reincorporação de farelo de tamanho reduzido de partículas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Obtenção do material

O lote de 100 kg de trigo (*Triticum aestivum* L.), adquirido de um fornecedor comercial foi submetido à moagem em moinho industrial, obtendo as frações farinha e farelo. A extração de farinha foi de 75% com base na massa total das frações de moagem de trigo. As duas frações de moagem foram acondicionadas em sacas de rafia e armazenadas no laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da Universidade de Passo Fundo. O farelo foi submetido à nova moagem, realizada em moinho de laboratório (modelo MA020, Marconi, Brasil), diminuindo o diâmetro médio de partícula de 402 para 369,58 micrômetros.

As frações farelo e farelinho foram homogeneizadas com o uso do misturador (modelo HB25, marca Hyppolyto, Brasil) e reincorporadas na farinha em concentrações de zero (100% de farinha), 25% (93,75% de farinha e 6,25% de farelo), 50% (87,5% de farinha e 12,5% de farelo), 75% (81,25% de farinha e 18,75% de farelo) e 100% (75% de farinha e 25% de farelo). As amostras foram novamente homogeneizadas constituindo os tratamentos utilizados neste estudo. Os tratamentos foram acondicionados individualmente em sacas de rafia e armazenados em câmara fria até a realização das análises laboratoriais.

3.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com uso de cinco amostras obtidas pela reincorporação de 0, 25, 50, 75 e 100% de farelo na farinha de trigo e realizado com base na taxa de extração de moagem de 75%. As análises foram realizadas no mínimo em triplicata e expressas os valores médios e desvios padrão.

3.2.3 Composição química aproximada

Para a determinação da composição química das amostras foram utilizados os métodos oficiais da *American Association of Cereal Chemistry* (AACC, 2010). A determinação do teor

de umidade foi realizada em estufa com circulação de ar a 130 °C por uma hora, de acordo com o método nº 44-15.02. O teor de proteína bruta foi determinado pelo método de Kjeldahl, nº 46-10.01. Para converter o valor de nitrogênio total em proteína bruta foi utilizado 5,7 como fator de conversão para a amostra de farinha refinada e 5,83 para as amostras elaboradas a partir das frações de farelo. A determinação do teor de cinzas foi realizada de acordo com o método nº 08-12.01 pela incineração das amostras em forno mufla a 525 °C. A determinação do teor de fibra bruta foi realizada de acordo com o método 32-10.01, utilizando amostras desengorduradas. O teor de lipídios foi determinado utilizando o método de extração em Soxhlet nº 30-25 e o teor de carboidratos foi determinado por diferença.

3.2.4 Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica da farinha refinada, do farelo grosso e do farelo fino foi realizada pelo método nº 66-20.01 da AACC (2010) utilizando conjunto de peneiras com aberturas de malhas de 500, 338, 250, 180 e 150 µm, respectivamente, acopladas a suporte vibratório (modelo KS1000, Retsch, Alemanha), com peneiração por 5 minutos.

3.2.5 Amido danificado

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

3.2.6 Atividade da enzima α -amilase

A atividade da enzima α -amilase foi determinada de acordo com o método nº 56-81.03 da AACC (2010) em equipamento Falling Number (modelo FN 1800, Perten Instruments, EUA).

3.2.7 Glúten

O teor de glúten foi determinado em acordo com o método nº 38-12.02 da AACC (2010) no sistema Glutomatic (modelo 2100, Perten Instruments, EUA), utilizando peneira de poliéster de 88 µm de abertura, durante 120 segundos até a formação da massa. Após este

período foi empregado peneira de abertura maior (840 μm) para eliminar a fibra das amostras no restante do período de lavagem.

3.2.8 Cor

A determinação de cor foi realizada utilizando espectrofotômetro de refletância difusa (modelo 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).

3.2.9 Farinografia

As propriedades de mistura das farinhas foram determinadas de acordo com o método nº 54-21.02 da AACCC (2010), em equipamento Promilógrafo (modelo T6-E, Koloman Egger, Áustria), utilizando 200 g de farinha de trigo corrigida para 14% de umidade e consistência de 500 Unidades Farinográficas (UF). Foram considerados os parâmetros: absorção de água (ou a quantidade de água necessária para a massa atingir a consistência de 500 UF, expresso em %); tempo de desenvolvimento da massa (ou o tempo que a massa leva para atingir a linha das 500 UF); estabilidade (diferença entre o tempo relativo ao ponto em que o máximo da curva intercepta a linha média de 500 UF e o tempo relativo ao ponto em que o topo da curva deixa a mesma linha, expresso em minutos e que fornece indicação da tolerância da farinha à mistura); e índice de tolerância à mistura (ITM, expresso em UF).

3.2.10 Alveografia

As propriedades viscoelásticas das farinhas foram determinadas de acordo com o método nº 54-30.02 da AACCC (2010) em equipamento alveógrafo (modelo NG, marca Chopin, França), utilizando 250 g de farinha. Os parâmetros considerados foram: tenacidade (P), que mede a pressão máxima necessária para expandir a massa, expressa em milímetros (mm); extensibilidade (L), que mede a capacidade de extensão da massa sem se romper, expressa em mm e força de glúten (W), que representa o trabalho de deformação da massa, expressa em 10^{-4} J.

3.2.11 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram avaliadas de acordo com o método nº 76-21.01 utilizando analisador rápido de velocidade (modelo RVA-3D, Newport Scientific, Austrália), equipado com software Termocline for Windows, versão 3.1. Foram utilizados aproximadamente 3,5 g de farinha e $25 \pm 0,1$ mL de água destilada, corrigidos para 14% de umidade e o perfil de temperatura Standard 1, em que as amostras são mantidas a 50 °C por 1 minuto, aquecidas até 95 °C em 3,5 minutos e mantidas nesta temperatura durante 2,5 minutos, resfriadas a 50 °C em 3,8 minutos e mantidas nesta temperatura até completar o tempo total de 13 minutos de análise), considerando os parâmetros: viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante, quebra e viscosidade final e tendência à retrogradação.

3.2.12 Análise estatística

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 pelo programa SASM – Agri versão 8.2.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Composição química

A composição química das amostras elaboradas com adição de diferentes frações de farelo está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Composição de farinha com reincorporação de 0, 25, 50, 75 e 100% de farelo de trigo

Tratamento (% farelo)	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)	Fibra alimentar (%)	Carboidratos (%)
0	12,89 ^a	13,99 ^b	1,46 ^b	0,75 ^d	0,40 ^e	72,03
25	12,72 ^{ab}	14,07 ^b	2,04 ^b	0,89 ^{cd}	0,67 ^d	69,61
50	12,61 ^{bc}	14,31 ^{ab}	2,29 ^b	1,02 ^c	1,24 ^c	68,53
75	12,41 ^c	14,39 ^{ab}	2,33 ^b	1,31 ^b	2,05 ^b	67,51
100	12,50 ^{bc}	14,77 ^a	3,39 ^a	1,63 ^a	2,46 ^a	65,25

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

Os resultados para composição química das amostras estudadas mostraram a influência das camadas externas do grão nos valores observados. Os teores de umidade ficaram situados dentro limite máximo de 15% estipulado pela legislação vigente (BRASIL, 2005) e que asseguram a conservação da qualidade das farinhas durante o armazenamento. Esta mesma normativa estipula como teores mínimos de proteínas 7,5 e 8,0% para farinhas refinadas e integrais, respectivamente, e que se enquadraram as amostras deste estudo. Em relação ao teor de proteínas, o aumento proporcional observado (entre 13,99 e 14,77% para a amostra de farinha refinada e com 100% de reincorporação de farelo, respectivamente) foi devido à reincorporação de farelo nas amostras, onde se encontram teores significativos deste constituinte (IDRIS et al., 2003).

Para o teor de lipídios foi observado aumento significativo em relação à farinha refinada apenas na amostra com 100% de farelo reincorporado. Este resultado é devido principalmente à presença do gérmen do grão que é extraído no farelinho durante o processo de moagem. É conhecido que a presença dos lipídios na farinha de trigo integral é causa principal da perda da funcionalidade durante o armazenamento devido às reações oxidativas que provoca (DOBLADO et al., 2012).

Em relação aos teores de cinzas se observou aumento gradual significativo da amostra de farinha refinada (0,75%) em relação à amostra com 100% de reincorporação de farelo (1,63%), o que pode ser explicado pelo farelo ser a fração do grão com maior teor de minerais. Estes valores estão de acordo com os limites máximos para teor de cinzas estabelecidos pela legislação brasileira, que são de 0,8% e 2,5% para farinhas refinadas e integrais, respectivamente (BRASIL, 2005).

Os teores obtidos para fibra alimentar apresentaram comportamento similar ao observado em proteínas, lipídios e cinzas, apresentando aumento gradual significativo quanto maior o teor de farelo reincorporado na amostra (entre 0,40 e 2,46%, para farinha refinada e com 100% de reincorporação, respectivamente). Resultados similares foram obtidos por Oro (2013), utilizando mesclas de farinha de trigo integral em farinha refinada. O consumo de fibras é recomendado devido aos efeitos que exerce sobre a saúde, porém, em panificação, a presença das fibras causa diminuição do volume e diferenças na textura dos produtos (GÓMEZ et al, 2003).

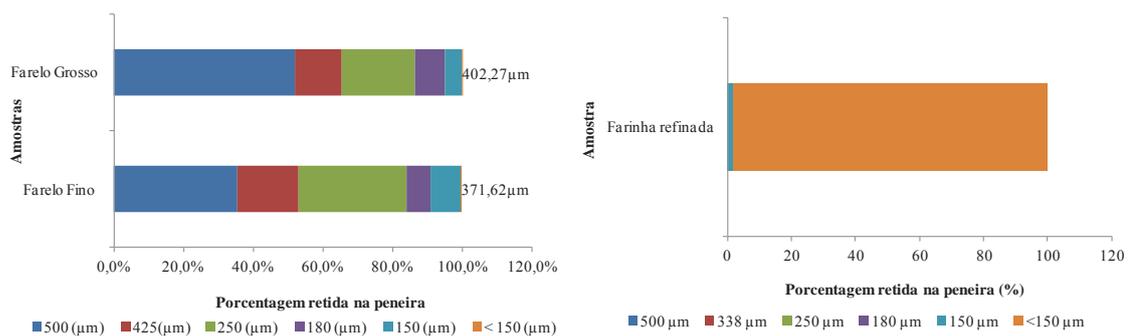
Devido aos resultados crescentes obtidos para os demais nutrientes, foram obtidas, por diferença, frações decrescentes de carboidratos de acordo com o aumento do teor de reincorporação de farelo nas amostras (entre 72,03 e 65,25%, para farinha refinada e com 100% de reincorporação, respectivamente).

A composição química influencia diretamente nas características físico-químicas e reológicas das farinhas e é um dos fatores determinantes para a qualidade tecnológica das farinhas.

3.3.2 Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica da farinha de trigo refinada, do farelo grosso e do farelo de granulometria fina está representada na Figura 1.

Figura 1 Distribuição granulométrica da farinha de trigo refinada e do farelo de trigo.



A análise da distribuição granulométrica mostrou que a farinha refinada utilizada neste estudo seguiu o estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005), em que mais de 95% do total da amostra passou através do tamiz com abertura de 250 µm. Em relação ao farelo grosso, 86,3% da amostra permaneceu nos tamizes de abertura ≥ 250 µm. Para o farelo fino, este resultado foi de 84,1% da amostra. Entretanto, a amostra do farelo fino apresentou-se

melhor distribuída entre os três tamizes de maior abertura (35,4%, 17,8% e 30,9%, para as aberturas de 500,425 e 250 μm , respectivamente) que a do farelo grosso (52%, 13,3% e 21%, para as aberturas de 500,425 e 250 μm , respectivamente).

A legislação brasileira não especifica limites para o tamanho de partícula de farelo, porém, ele afeta o escoamento da farinha e é negativamente correlacionado com a coesividade e a força de tração (Kuakpetoon et al., 2001), o que pode ser um dos fatores responsáveis pelo melhor desempenho de farinhas refinadas durante o processo de cozimento. Neste estudo, o farelo foi submetido ao segundo processo de moagem, diminuindo seu tamanho médio com o intuito de minimizar os efeitos físicos que exerce sobre a reologia da massa.

3.3.3 Teor de glúten, atividade da enzima α -amilase e amido danificado

Os resultados obtidos para índice de glúten, atividade da enzima α -amilase e amido danificado estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Teor de glúten e atividade da enzima α -amilase das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação de farelo.

Tratamento (% de farelo)	Glúten úmido (%)	Glúten seco (%)	Índice de glúten (%)	Atividade α -amilase* (s)	Amido danificado (%)
0	28,81 ^a \pm 0,97	9,62 ^a \pm 0,07	94,72 ^a \pm 0,97	383 ^d \pm 1,40	5,34 ^a \pm 0,07
25	27,80 ^b \pm 0,15	8,91 ^{ab} \pm 0,11	96,26 ^a \pm 0,03	440 ^a \pm 0,00	5,16 ^{ab} \pm 0,01
50	24,51 ^c \pm 0,57	8,27 ^{bc} \pm 0,33	95,09 ^a \pm 0,54	446 ^a \pm 1,40	5,08 ^b \pm 0,03
75	23,46 ^d \pm 0,03	7,86 ^{cd} \pm 0,41	93,21 ^a \pm 1,09	420 ^b \pm 2,80	5,02 ^{bc} \pm 0,01
100	22,06 ^e \pm 0,06	7,24 ^d \pm 0,04	92,98 ^a \pm 1,30	411 ^c \pm 1,40	4,79 ^c \pm 0,07

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Resultados expressos como média de três determinações \pm desvio padrão. *Corrigido para umidade de 14% e 687 m de altitude.

A maior quantidade e a melhor qualidade de glúten são desejáveis para produção de pães. Para as amostras deste estudo, observou-se em relação ao glúten úmido que todas as amostras elaboradas pela reconstituição do farelo apresentaram teores significativamente menores que na farinha refinada. Isto se deve ao fato de que quanto maior a quantidade de farelo reincorporada para a elaboração da farinha, menor a fração proteica presente e maior a diluição dessa fração pelo farelo. De acordo com Ribeiro (2009), farinhas com valores de glúten úmido compreendidos entre 24 e 36% são recomendadas para uso em panificação, o que excluiria as amostras com 75 e 100% de reincorporação de farelo como adequadas para panificação.

O glúten seco representa a fração de um terço do glúten úmido, o que foi possível observar nas amostras avaliadas. Ribeiro (2009) propôs que a faixa ideal para o conteúdo de glúten seco situa-se entre 7,5 e 14%, o que está de acordo com os resultados obtidos neste estudo.

Em relação ao índice de glúten, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras elaboradas, apesar da diferença evidenciada para o glúten úmido, o que é devido ao índice de glúten ser calculado pela proporção total de farinha utilizada. Todas as amostras puderam ser classificadas como farinhas de glúten forte, pois, de acordo com Mellado (2006), farinhas de trigo com glúten forte apresentam índice de glúten acima de 90%.

Em relação aos resultados obtidos para a atividade da enzima alfa-amilase, observou-se o menor valor para a farinha refinada (383 s), com aumento significativo nas amostras com 25 e 50% de reincorporação de farelo (440 e 446 s). De acordo com Mellado (2006), valores acima de 300 s indicam baixa atividade enzimática, o que, frente ao processo fermentativo, deverá implicar em produtos de panificação com baixo volume. Para as amostras com maiores teores de reincorporação de farelo, os resultados observados apresentaram leve diminuição devido à presença de maior quantidade de fibras, que alteram a viscosidade do meio e prejudicam os a correta observação dos resultados de análise (POSNER; HIBBS, 1999).

O teor de amido danificado é um parâmetro importante para a avaliação da qualidade de farinhas de trigo (BOYACI et al., 2004), pois possibilita avaliar o nível de danificação no amido conforme a intensidade de moagem aplicada no grão de trigo. O amido danificado influencia a absorção de água, a reologia e a fermentação dos produtos fermentados que, por sua vez determina a firmeza do miolo e a cor crosta de pães (STASIO et al., 2004).

Neste estudo, o teor de amido danificado obtidos para a farinha de trigo refinada pode ser considerado normal para uma amostra de farinha refinada comercial (5,34%). Os valores obtidos para amido danificado das amostras com reincorporação de farelo foram menores devido à menor disponibilidade de amido presente nestas farinhas, pois parte da fração de farinha refinada foi substituída pelo farelo, diluindo parcialmente a fração amido. As amostras deste estudo apresentaram teores de amido danificado adequado à produção de produtos de panificação.

3.3.4 Cor da farinha de trigo

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos para a cor das amostras de farinha utilizadas.

Tabela 3 Análise de cor das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação de farelo.

Tratamento (% de farelo)	L*	a*	b*	ΔE
0	92,27 ^a ± 0,00	0,52 ^e ± 0,01	9,28 ^a ± 0,01	--
25	90,43 ^b ± 0,03	0,89 ^d ± 0,00	8,73 ^c ± 0,01	2,04
50	88,69 ^c ± 0,00	1,26 ^c ± 0,01	8,58 ^e ± 0,01	3,62
75	87,26 ^d ± 0,02	1,66 ^b ± 0,01	8,88 ^b ± 0,00	5,11
100	86,06 ^e ± 0,00	1,91 ^a ± 0,00	8,66 ^d ± 0,01	6,41

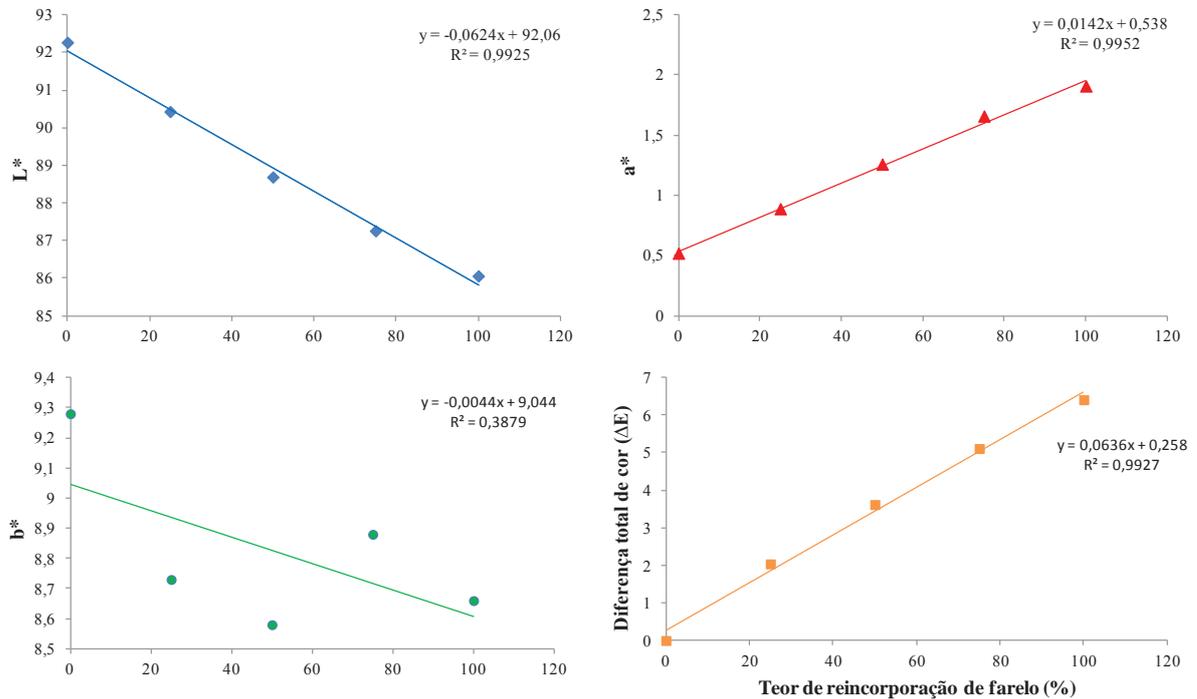
Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. ΔE: diferença total de cor.

A respeito da análise de cor, para todas as amostras o aumento no teor de reincorporação de farelo levou à diminuição nos valores de luminosidade (L*), demonstrando que a presença de farelo forma amostras de tonalidade escurecida. Da mesma forma, a coordenada de cromaticidade a* aumentada indica tendência à cor vermelha, mostrando que a reincorporação do farelo forma farinhas mais escuras. Os valores da coordenada de cromaticidade b* não apresentaram diminuição linear de acordo com o aumento do teor de reincorporação do farelo. Estes resultados estão de acordo com os relatados por Wang et al. (2014), para as coordenadas de cromaticidade analisadas em farinhas elaboradas pela reincorporação de 0, 25, 50,75 e 100% de farelo.

Estes resultados podem ser comprovados quando pelo cálculo da variação total de cor (ΔE), que em comparação a farinha refinada apresentou aumento, indicando o impacto da reincorporação de farelo na cor global das farinhas.

A Figura 2 mostra os resultados obtidos para a cor e a variação total de cor das amostras de farinha utilizadas.

Figura 2 Valores de cor das farinhas elaboradas com farinha de trigo refinada e reincorporação de farelo.



Legenda: L*: Luminosidade; a* e b*: coordenadas de cromaticidade; ΔE: variação total de cor.

3.3.5 Propriedades de mistura

As farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo apresentaram diferenças no comportamento durante o processo de mistura da massa em comparação com a farinha refinada. A Tabela 4 apresenta os resultados dos principais parâmetros registrados no farinógrafo.

Tabela 4 Propriedades de mistura das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo.

Tratamento (% de farelo)	Absorção (min)	TDM (%)	Estabilidade (min)	ITM (UF)
0	62,1 ^e ± 0,14	1,8 ^c ± 0,00	13,8 ^a ± 0,07	37,0 ^c ± 4,24
25	64,0 ^d ± 0,00	2,5 ^c ± 0,21	13,8 ^a ± 0,00	30,5 ^c ± 0,71
50	66,9 ^c ± 0,34	9,5 ^a ± 0,42	13,6 ^a ± 0,42	62,5 ^b ± 3,54
75	69,9 ^b ± 0,57	8,2 ^b ± 0,21	12,3 ^b ± 0,57	65,5 ^{ab} ± 3,54
100	71,2 ^a ± 0,00	7,8 ^b ± 0,00	8,9 ^c ± 0,14	74,5 ^a ± 0,71

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Resultados expressos como média de três determinações ± desvio padrão. TDM: tempo de desenvolvimento da massa. ITM: Índice de tolerância à mistura. UF: Unidades farinográficas.

A presença do farelo nas amostras provocou aumento significativo da absorção de água em relação à farinha refinada à medida que os percentuais de reincorporação de farelo foram elevados. A quantidade de água (%) necessária para obtenção da massa com consistência ideal (500 UF) apresentou aumento de até 9% quando 100% do farelo foi reincorporado na farinha. Este comportamento está relacionado à alta capacidade de absorção de água pelas fibras (AHMED et al., 2013), pois a presença de grande número de grupos hidroxila na estrutura das fibras permite maiores interações com a água através de ligações de hidrogênio (ROSELL et al., 2001).

O tempo de desenvolvimento da massa (TDM) aumentou para as farinhas elaboradas pela reincorporação de farelo, demonstrando que massas de farinhas integrais necessitam maior tempo de mistura para alcançar a consistência máxima, quando comparado com a farinha de trigo refinada. Este efeito é atribuído à interação que ocorre entre as fibras e o glúten, que dificulta a hidratação das proteínas e afeta a agregação e desagregação das proteínas de elevado peso molecular (ROSELL et al., 2006).

A estabilidade da massa, parâmetro correlacionado com a força da farinha, apresentou-se diminuída em relação à farinha refinada nas amostras elaboradas com 75 e 100% de reincorporação de farelo. A presença do farelo leva à formação de uma rede de glúten enfraquecida e menos estável durante o processo de mistura prolongado devido a uma série de interações físicas e químicas que interferem diretamente na estabilidade da massa, pois ela depende do número de ligações entre as moléculas proteicas presentes no glúten e da força entre essas ligações (INDRANI; RAO, 2007). Resultados semelhantes foram observados por Oro (2013) para estabilidade de farinhas elaboradas por mesclas de farinha de trigo integral em farinha refinada.

Efeitos significativos foram observados no índice de tolerância (ITM), que aumentou por meio da reincorporação do farelo. Sabe-se que quanto maior o ITM mais fraca é classificada a farinha (JUNQUEIRA et al., 2007).

3.3.6 Propriedades viscoelásticas

As propriedades viscoelásticas da amostra de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo podem ser observadas na Tabela 5 e na Figura 4.

Tabela 5 Propriedades viscoelásticas da amostra de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo.

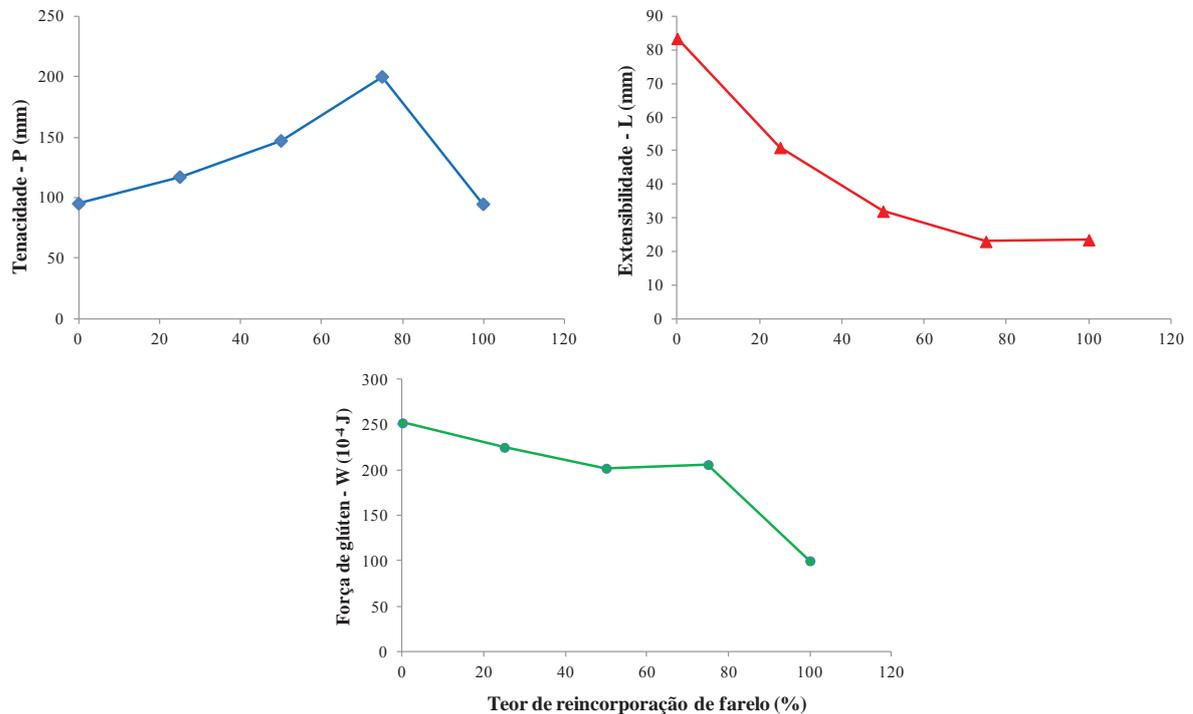
Tratamento (% de farelo)	P (mm H ₂ O)	L (mm)	W(10 ⁻⁴ J)
0	95 ^d ± 0,00	83,5 ^a ± 2,1	252 ^a ± 1,4
25	117 ^c ± 1,4	51 ^b ± 1,4	225 ^b ± 0,7
50	147 ^b ± 1,4	32 ^c ± 0,00	202 ^c ± 2,8
75	200 ^a ± 2,5	23 ^d ± 0,00	206 ^c ± 2,8
100	94,5 ^d ± 0,7	23,5 ^d ± 0,7	100 ^d ± 2,8

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Resultados expressos como média de duas determinações ± desvio padrão. P: tenacidade. L: extensibilidade. W: força de glúten.

Os resultados obtidos para tenacidade (P) das amostras analisadas manifestaram correlação positiva com o aumento da porcentagem de farelo, mostrando aumento da pressão máxima exercida pelo equipamento para expandir a massa. O aumento no valor de tenacidade pode ser atribuído à presença de compostos que absorvem água, como as arabinosilanas, que tornam a massa excessivamente firme para que possa expandir (LI et al., 2014). O teste não respondeu adequadamente à análise da amostra com 100% de reincorporação de farelo e, provavelmente, para amostras com elevados teores de fibras, ele necessite de adaptações.

Os resultados obtidos para extensibilidade (L) diminuíram de acordo com o aumento do teor de farelo reincorporado nas amostras. Os resultados obtidos para tenacidade e extensibilidade se refletem nos obtidos para força de glúten, e podem ser atribuídos ao aumento no teor de fibras na farinha das amostras, que causa diluição da rede de glúten e o seu consequente enfraquecimento (DOMINGUÉZ et, al., 2003). Estes resultados estão ilustrados na Figura 3.

Figura 3 Propriedades viscoelásticas da amostra de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo.



3.3.7 Propriedades de pasta

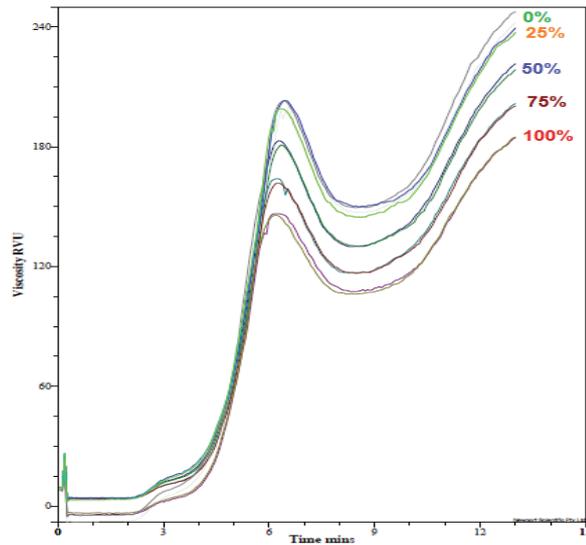
A Tabela 6 e a Figura 4 mostram os resultados obtidos para as propriedades de pasta das farinhas analisadas de acordo com os parâmetros que definem o comportamento do amido durante o aquecimento em excesso de água.

Tabela 6 Propriedades de pasta das amostras de farinha de trigo refinada e farinhas elaboradas pela reincorporação do farelo.

Tratamento (% de farelo)	VMáx (RVU)	VMín (RVU)	Quebra (RVU)	VFinal (RVU)	Tend Retrograd (RVU)
0	200,4 ^a ± 3,54	146,54 ^{ab} ± 6,89	55,95 ^a ± 3,36	242,67 ^a ± 7,07	98,12 ^a ± 0,18
25	200,5 ^a ± 3,71	144,41 ^a ± 4,83	54,21 ^a ± 4,72	236,17 ^a ± 4,72	89,75 ^b ± 0,11
50	181,96 ^b ± 1,47	130,12 ^{bc} ± 0,29	51,87 ^{ab} ± 1,83	220,08 ^b ± 2,12	90,96 ^b ± 1,00
75	162,87 ^c ± 1,59	116,71 ^{cd} ± 0,18	46,17 ^{bc} ± 1,41	201,04 ^c ± 0,88	84,33 ^c ± 0,71
100	146,16 ^d ± 0,47	106,79 ^d ± 0,88	39,37 ^c ± 0,42	184,70 ^d ± 0,18	77,92 ^d ± 1,06

Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Resultados expressos como média de duas determinações ± desvio padrão. VMáx: viscosidade máxima. VMín: viscosidade mínima à temperatura constante. Quebra: diferença entre os valores de viscosidade máxima e viscosidade mínima. Tend Retrograd: tendência à retrogradação. RVU: Rapid visco unit.

Figura 4 Propriedades de pasta das amostras de farinha de trigo refinada com adição de farelo.



Legenda: 0%: farinha refinada (controle); 25%, 50%, 75% e 100%: Amostras elaboradas com diferentes proporções de farelo adicionado na farinha refinada.

A viscosidade máxima é um parâmetro relacionado à capacidade do amido de absorver água e ao intumescimento dos grânulos de amido durante o aquecimento (ORO et al., 2013). Quando o amido está presente em grande quantidade, o pico da viscosidade será elevado, por isso o maior valor para viscosidade máxima foi observado na amostra de farinha refinada (200,4 RVU), que não possui adição de farelo e proporcionalmente maior teor de amido entre as amostras. Sabe-se que a absorção de água pelos grânulos de amido pode ser inibida na presença de proteínas, o que contribui para obterem-se menores valores para viscosidade máxima nas farinhas elaboradas pela reincorporação de farelo (SINGH et al., 2011).

Nas propriedades de pasta, a amilose atua parcialmente como diluente da amilopectina e parcialmente como inibidor do intumescimento, especialmente quando complexada com lipídios, o que justifica os menores valores de viscosidade máxima das amostras elaboradas com maior teor de farelo, em que estão presentes os lipídios originados do gérmen do grão de trigo.

A viscosidade mínima à temperatura constante é o valor da viscosidade no momento em que a temperatura é mantida a 95°C e está associada à estabilidade dos grânulos de amido em relação ao aquecimento. Durante o teste, as suspensões de amido são sujeitas a alta temperatura e tensão de cisalhamento mecânico que rompem os grânulos de amido dos grãos, o que resulta na lixiviação da amilose. Neste período que ocorre diminuição da viscosidade, a capacidade dos amidos em suportar o aquecimento a alta temperatura e tensão de

cisalhamento é um fator importante em muitos processos em alimentos (SINGH et al., 2011; LEON et al, 2010).

A quebra é um parâmetro calculado pela diferença entre os valores de viscosidade máxima e de viscosidade mínima a temperatura constante. Valores elevados de quebra estão associados à viscosidade máxima elevada, que, por sua vez, estão relacionados com o grau de intumescimento e estabilidade dos grânulos de amido durante o aquecimento (RAGAEE; ABDEL-AAL, 2006). Este fato explica os resultados obtidos neste estudo em que as amostras que possuíam menor teor de farelo apresentaram menor valor para a quebra, pois possuíam menor teor de amido, proporcionalmente. Além disso, a presença do farelo pode interferir fisicamente no intumescimento dos grânulos, causando seu rompimento antes que estejam totalmente intumescidos.

Após a amostra ser resfriada a 50°C, a reassociação entre as moléculas de amido, especialmente a amilose, resulta na formação de estrutura de gel e a viscosidade aumenta atingindo a viscosidade final. Quando associada à tendência a retrogradação, que é calculada pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima à temperatura constante, a medida da tendência do amido em retrogradar (RAGAEE; ABDEL-AAL, 2006). A retrogradação é uma característica atribuída ao amido, o que justifica a amostra de farinha refinada apresentar o maior valor para este parâmetro. As fibras tem capacidade de absorver elevados teores de água, o que a torna menos disponível para retrogradação, como pode ser observado neste estudo nas amostras com maior teor de farelo reincorporado. Os resultados demonstram maiores efeitos da adição de farelo na viscosidade das amostras elaboradas com 75 e 100% de farelo adicionado em proporção ao total de farelo da moagem, revelando que as amostras com 25 e 50% de adição de farelo são mais indicadas para elaboração de alimentos porque podem gerar produtos com melhor volume, maciez e maior tempo de vida útil.

3.4 CONCLUSÕES

A reincorporação de farelo em diferentes níveis em farinha refinada promove alterações na composição química e nos parâmetros físico-químicos e reológicos das farinhas elaboradas.

A qualidade tecnológica das farinhas testadas diminui proporcionalmente à medida que aumenta o teor de farinha integral, o que pode ser atribuído ao teor de fibras na amostra, o que aumenta a absorção de água, causa efeito de diluição da matriz proteica e na retenção de água pelos grânulos de amido.

As propriedades de pasta das farinhas diminuem proporcionalmente com o aumento do teor de farelo, atribuído à maior absorção de água pelas fibras, presentes em maior quantidade e o menor teor de amido.

De maneira geral, os efeitos observados na avaliação das farinhas elaboradas puderam ser atribuídos em maior extensão ao efeito de diluição da matriz proteica causado pelo farelo e minimizados pela diminuição do tamanho de suas partículas.

Maiores resultados relativos ao efeito do tamanho de partícula de farinhas integrais nas propriedades da massa ainda precisam ser investigados.

REFERÊNCIAS

- AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**.11^a. ed., Saint Paulo, 2010.
- 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
- ANDERSON, J.W. Whole grains and coronary heart disease: The whole kernel of truth. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.80, p.1458-1460, 2004.
- BOCK, E., J., DAMODARAN, S. Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by fourier transform infrared spectroscopy. **Food Hydrocolloids**, v.31, p. 146-155, 2013.
- BOYACI, H.I., WILLIAMS, P. C., KO`KSELA, H. A rapid method for the estimation of damaged starch in wheat flours. **Journal of Cereal Science**. v. 39, p. 139-145, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução Normativa n° 8, de 02 de junho de 2005. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 jun. 2005. Seção 1, n. 105, p. 91.
- CURTI, E. CARINI. E.; BONACINI, G.; TRIBUZIO, G.; VITTADINI, E. Effect of the addition of bran fractions on bread properties. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 325–332, 2013.
- DOBLADO-MALDONADO, A. F., PIKE, A.O., SWELEY, J.C., DEVIN, J. Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 119–126, 2012.
- DOMÍNGUEZ, G. C.; GUEVARA, M. N.; REBOLLO, R. F.; ERRASQUÍN, R. A.; ESCOBEDO, R. M. Structural and farinographic changes during mixing of a yeast sweet dough. **Nahrung Food**, v. 47, n. 5, p. 312-319, 2003.
- 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.
- GÓMEZ, M.; JIMÉNEZ, S.; RUIZ, E.; OLIETE, B. Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. **Food Science and Technology**, v. 44, n 10 p. 2231-2237, 2011.
- HEMERY, Y.; ROUAU, X.; PELLERIN, L. V.; BARRON, C.; ABECASSIS. J. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n 3 p. 327-347, 2007.
- IDRIS, W.H.; BABIKER, E.E; EL TINAY, A.H. Fractionation, solubility and functional properties of wheat bran proteins as influenced by pH and/or salt concentration. **Nahrung**, v.47, p.425-429, 2003.

INDRANI, D.; RAO, G. V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of Parotta. **Journal of Food Engineering**, v. 17, n. 1, p. 105-110, 2007.

JACOBS J. D. R.; MARQUART, L.; SLAVIN, J.; KUSHI, L.H. Whole-grain intake and cancer: An expanded review and meta-analysis. **Nutrition and Cancer**, v.30, p.85-96, 1998.

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

LEON, E. et al. Pasting properties of transgenic lines of a commercial bread wheat expressing combinations of HMW glutenin subunit genes. **Journal of Cereal Science**, v.51, p.344- 349, 2010.

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

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

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

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., LIMBERGERV. M., MIRANDA M. V., RICHARDS N. S. P.S., GUTKOSKI, L. C., FRANCISCO, A. Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha refinada usadas na produção de pães. **Ciência Rural**,v.43, n.4, p.754-760, 2013.

POSNER, E.S.; HIBBS, A.N. **Wheat flour milling**. 1.ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, p. 341, 1999.

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

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

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

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

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

SIVAN, S.A.; WATERHOUSE, S.D.; QUEK, Y. S.; PERERA, O.C. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. **Food Sciences**, v.75, n.8, p.163-174, 2010.

STASIO, M.; VACCA, P.; PICIOCCHI, N.; MECCARIELLO, C.; VOLPE, M. G. Particle size distribution and starch damage in some soft wheat cultivars. **International Journal of Food Science and Technology**, V. 42, p. 246-250, 2007.

STEVENSON, L., PHILLIOS, F., O'SULLIVAN, K., WALTIN, J. Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v.63, n. 8, p. 1001-1013, 2012.

WANG, L.; DENG, L.; WANG, Y.; ZHANG, Y.; QIAN, H.; ZANG, H.; QI, X. Effect of whole wheat flour on the quality of traditional Chinese Sachima. **Food Chemistry**, n.152, p. 184–189, 2014.

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

WANG, M.; VIET, T.; HAMER, J. R. Evidence that pentosans and xylanase affect the re-agglomeration of the gluten network. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 3, p. 341–349, 2004.

WANG, M.; VIET, T.; HAMER, J. R. How gluten properties are affected by pentosans. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 3, p. 395–402, 2004.

WANG, M.; OUDGENOEG, G.; VIET, T.; HAMER, J. R. Interaction of water unextractable solids with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 1, p. 94–104, 2003.

WANGY, Li M. Q. Effects of ultra-fine grinding on the properties of wheat bran. **Modern Food Science and Technology**. 27: 271-274, 2011

ZHANG, D.; MOORE, WR. Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 75, p. 705–709, 1999.

4. CAPÍTULO 2

Caracterização tecnológica da massa e de pão de forma de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina

Technological characterization of mass and of loaf bread of wheat flour prepared by the reincorporation of fine granulometry bran

(Artigo em preparação para a submissão em periódico)

RESUMO

Os benefícios ao organismo humano devido à ingestão de farelo estão relacionados à sua composição rica em fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos. O farelo de trigo quando reincorporado na farinha afeta consideravelmente o comportamento reológico da massa e qualidade dos produtos de panificação. O objetivo deste trabalho foi avaliar efeitos da reincorporação de farelo de trigo de granulometria fina nas propriedades da massa e do pão de forma. O trigo foi submetido à moagem em moinho industrial, obtendo as frações farinha, farelinho e farelo. O farelo foi submetido à nova moagem, homogeneizado com a fração farelinho e reincorporado na farinha em concentrações de 0% (100% de farinha), 25% (93,75% de farinha e 6,25% de farelo), 50% (87,5% de farinha e 12,5% de farelo), 75% (81,25% de farinha e 18,75% de farelo) e 100% (75% de farinha e 25% de farelo). As amostras foram homogeneizadas constituindo os tratamentos utilizados neste estudo. As amostras de cada tratamento foram acondicionadas em sacas de rafia e armazenadas em câmara fria até a realização das análises laboratoriais. O experimento foi delineado de forma inteiramente casualizado com uso de cinco tratamentos e realizado as análises, em triplicata, de granulometria, volume de fermentação, resistência à extensão, extensibilidade, volume específico, escore de pontos, firmeza, umidade e cor. A significância dos dados foi testada pela análise de variância e nos modelos significativos as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança. A reincorporação de farelo na farinha de trigo promove alteração na massa devido o aumento de fibras e redução de proteínas formadoras de glúten prejudicando o volume de fermentação e as propriedades de resistência à extensão e extensibilidade. A redução do tamanho de partículas do farelo minimiza os efeitos negativos no volume específico de pão de forma. O aumento de firmeza dos pães é proporcional à reincorporação de farelo. As características observadas nas farinhas com incorporação de farelo de granulometria fina podem ser atribuídas em maior extensão ao efeito de diluição da matriz proteica causado pelas fibras e minimizados pela diminuição do tamanho de partículas.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, tamanho de partícula, extensibilidade, volume da massa, panificação.

ABSTRACT

The benefits to the human body due to bran intake are related to its composition rich in fiber, vitamins, minerals and bioactive compounds. Wheat bran when reincorporated in flour significantly affects the rheological properties of dough and quality of baked products. The objective of this study was to evaluate effects of reincorporation wheat bran of gran of fine granulometry in the properties of dough and form of bread. Wheat was submitted at grinding in an industrial mill, obtaining the flour fraction, semolina and bran. The bran was subjected to new grinding, homogenized with semolina fraction and reincorporated in flour at the concentrations of 0% (100% flour), 25% (93.75% 6.25% flour and meal), 50% (87.5% flour and bran 12.5%), 75% (81.25% flour and bran 18.75%) and 100% (75% flour and 25% bran). The samples were homogenized constituting the treatments used in this study. Samples from each treatment were packed in raffia bags and stored in cold storage until the completion of laboratory tests. The experiment was designed in completely randomized way using five treatments and accomplished the analyzes in triplicate particle size, the fermentation volume, extension strength, extensibility, specific volume, score points, firmness, moisture and color. Significance of data was tested by the analysis of variance and in significant models means compared each other by the Tukey test at 95% confidence interval. The reincorporation of wheat bran in flour promotes the change in mass due to increased fibers and reduced gluten-forming proteins impairing the volume of fermentation and resistance properties to the length and extensibility. The reduction of the bran particle size, minimizes the negative effects on the specific volume of bread. The increase of the firmness in the bread is proportional to bran reincorporation. The characteristics observed in flours, with incorporation of the wheat bran when can be attributed to a greater extent to the dilution effect of protein matrix caused by the fibers and minimized by decreasing particle size.

Key-words: *Triticum aestivum*, particle size, extensibility, mass volum, baking.

4.1 INTRODUÇÃO

Os cereais integrais têm ganhado interesse crescente nas últimas décadas devido ao seu potencial efeito sobre a saúde além da nutrição básica. No trigo (*Triticum aestivum* L.), os benefícios ao organismo estão relacionados à composição do farelo, subproduto do processo de moagem para obtenção da farinha branca que é rico em fibras, vitaminas, minerais e compostos fitoquímicos com ação bioativa (GÓMEZ et. al., 2011).

Evidências epidemiológicas demonstram que o consumo diário de produtos derivados de cereais enriquecidos com farelo pode reduzir a incidência de doenças crônicas como obesidade, doenças cardiovasculares, diabetes tipo II e câncer (JACOBS et al., 1988; ANDERSON, 2004). O pão, um dos maiores gênero alimentício consumido e parte essencial da dieta humana, quando enriquecido com farelo pode ser um meio para melhorar as propriedades nutricionais e promover efeitos fisiológicos através dos hábitos alimentares familiares.

Apesar dos benefícios à saúde, o farelo de trigo quando reincorporado na farinha branca afeta consideravelmente o comportamento reológico da massa e qualidade do produto final. A alta capacidade de absorção de água pelas fibras causa a redução da disponibilidade de água para o glúten durante o desenvolvimento da massa. Da mesma forma, afeta a distribuição de umidade entre os constituintes da massa, resultando em propriedades reológicas alteradas e tempo de desenvolvimento prolongado (ROSELL et. al., 2001). O conjunto de alterações, tanto no comportamento reológico, como nas etapas de fermentação e cozimento proporcionam efeitos na qualidade dos produtos de panificação e entre os mais notáveis estão redução de volume, modificações de textura, variações na aparência e alteração no sabor (ROSA et al., 2013).

A adição de farelo na farinha de trigo causa alterações nas propriedades da massa e do pão como diluição do glúten, que afeta a capacidade de retenção de gás da massa (GOMEZ et al., 2003 ; WANG et al., 2002). Tem sido também relatado que alterações no teor de água da massa pode interferir no volume do pão e aumentar a dureza do miolo em função do teor de farelo reincorporado na farinha de trigo (CURTI et al. 2013). As partículas do farelo podem interagir com os elementos estruturais da rede de glúten diminuindo a extensibilidade da massa e capacidade de retenção de gás (WANGY, 2011). Noort et al., (2010), estudando as interações entre o farelo e as proteínas do glúten, propôs que uma combinação de mecanismos físicos e químicos podem estar relacionados e ter efeito pronunciado quando o tamanho de partícula é reduzido.

Partículas de farelo pequenas apresentam maior superfície de contato, proporcionando maior interação entre os compostos fitoquímicos, em especial os monômeros de ácido ferúlico ligados ao material insolúvel da parede celular, capazes de reagir com as proteínas do glúten, alterando sua funcionalidade. As maiores interações com as proteínas do glúten também são atribuídas ao aumento na quantidade de compostos fitoquímicos reativos, que são liberados durante o processo de moagem devido à ruptura celular das camadas externas, em especial a camada de aleurona (NOORT et al., 2010).

Em função dos benefícios de alimentos ricos em fibras e compostos bioativos e considerando a disponibilidade de farelo e o consumo de pães pela população se realizou este estudo com o objetivo de avaliar efeitos da reincorporação de farelo de trigo de tamanho de partícula reduzido nas propriedades da massa e do pão de forma.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Obtenção do material

O lote de 100 kg de trigo (*Triticum aestivum* L.), adquirido de um fornecedor comercial foi submetido à moagem em moinho industrial, obtendo as frações farinha e farelo. A extração de farinha foi de 75% com base na massa total das frações de moagem de trigo. As duas frações de moagem foram acondicionadas em sacas de rafia e armazenadas no laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da Universidade de Passo Fundo.

O farelo foi submetido à nova moagem, realizada em moinho de laboratório (modelo MA020, Marconi, Brasil), diminuindo o diâmetro médio de partícula de 402 para 369,58 micrômetros. As frações farelo e farelinho foram homogeneizadas com o uso do misturador (modelo HB25, marca Hyppolyto, Brasil) e reincorporadas na farinha em concentrações de zero (100% de farinha), 25% (93,75% de farinha e 6,25% de farelo), 50% (87,5% de farinha e 12,5% de farelo), 75% (81,25% de farinha e 18,75% de farelo) e 100% (75% de farinha e 25% de farelo). As amostras foram novamente homogeneizadas constituindo os tratamentos utilizados neste estudo. Os tratamentos foram acondicionados individualmente em sacas de rafia e armazenados em câmara fria até a realização das análises laboratoriais.

4.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com uso de cinco amostras obtidas pela reincorporação de 0, 25, 50, 75 e 100% de farelo na farinha de trigo e realizado com base na taxa de extração de moagem de 75%. As análises foram realizadas no mínimo em triplicata e expressas os valores médios e desvios padrão.

4.2.3 Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica da farinha refinada, do farelo grosso e do farelo fino foi realizada pelo método nº 66-20.01 utilizando conjunto de peneiras com aberturas de malhas de 500, 338, 250, 180 e 150 µm, respectivamente, acopladas a suporte vibratório (modelo KS1000, Retsch, Alemanha), com peneiração por 5 minutos.

4.2.4 Teste de panificação

As farinhas elaboradas com diferentes níveis de reincorporação de farelo foram avaliadas através de teste de panificação, de acordo com o método nº 10-10.03 AACCC (2010). Na formulação foi utilizado farinha (100%), gordura vegetal hidrogenada (3%), sal refinado (1,75%), ácido ascórbico (0,01%), açúcar (5%), fermento biológico (3%) e água a 4°C, de acordo com o que foi determinado em farinógrafo para atingir a consistência de 500 unidades farinográficas. A mistura foi realizada em masseira (modelo Spiral Mixer SP 12F, Diosna, Alemanha). Os tempos de mistura na masseira foram definidos a partir de experimentos preliminares. A mistura da massa em velocidade lenta foi de três minutos e na velocidade rápida de 12 minutos para farinha refinada; 11 minutos para a farinha com 25% de reincorporação de farelo; 10 minutos para a farinha com 50% de reincorporação de farelo; 9 minutos para a farinha com 75% de reincorporação de farelo e; 6 minutos para a farinha com 100% de reincorporação de farelo. Os ingredientes farinha, reforçador, açúcar, sal e água foram adicionados na masseira, realizado a mistura na velocidade lenta por 3 minutos, adicionado fermento biológico e gordura e completado o tempo em velocidade rápida conforme definido para cada tratamento.

A massa foi retirada da masseira, dividida em porções de 150 g, colocada em formas e deixada em descanso por dez minutos. A fermentação das massas foi realizada em câmara (modelo MP20, marca Multipão, Brasil), regulada na temperatura de 30 ± 1 °C e umidade

relativa de 80%. O monitoramento foi realizado pelo uso de termohigrógrafo. O cozimento foi realizado em forno laboratorial (modelo QA 226, marca Labor Instruments, Áustria), regulado na temperatura de 220 °C por 18 minutos. Os pães resfriaram em temperatura ambiente e após uma hora foram realizadas as análises.

4.2.5 Volume de fermentação

O volume de fermentação das massas foi avaliado acomodando-se 50 g de massa de cada formulação em proveta de 500 mL de capacidade, fechando-se a sua abertura com filme plástico com a finalidade de evitar o ressecamento da amostra. As provetas foram colocadas em câmara de fermentação (modelo MP20, marca Multipão, Brasil), regulada a 32 °C e 80% de umidade relativa, de acordo com Rouillé et al. (2000). O volume foi avaliado nos tempos zero (inicial), 30, 60, 120 e 180 minutos.

4.2.6 Elasticidade e extensibilidade

A elasticidade (resistência a extensão) e a extensibilidade da massa de pão de forma foram medidas utilizando equipamento texturômetro (modelo TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Inglaterra), equipado com software Exponent 32, utilizando probe *Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig (A/KIE)*, com velocidade de pré-teste de 2,0 mm/s, teste de 3,0 mm/s e pós-teste de 10,0 mm/s, distância de 75,0 mm e força de 5,0 kg.

Para o teste foram utilizadas amostras das massas preparadas na panificação. A preparação das amostras consistiu em comprimir a massa em molde de teflon apropriado, obtenção de tiras de massa e a realização do teste obtendo a resistência à extensão em gramas e a extensibilidade em mm.

4.2.7 Volume específico

A avaliação do volume dos pães foi determinada em aparelho (modelo VDMV-03/MVP-1300, marca Vondel, Brasil), pelo deslocamento de sementes de canola e o volume específico calculado pela relação entre o volume do pão assado e a sua massa, obtida por pesagem em balança eletrônica (modelo 3100, marca Mark, EUA), com precisão de 0,01 g. A determinação do volume específico foi realizada uma hora após o cozimento dos pães e os resultados expressos em mL.g⁻¹.

4.2.8 Determinação das características de qualidade

A avaliação das características de qualidade dos pães foi realizada empregando o escore de pontos delineado por El-Dash (1978). Foram avaliadas as características externas (cor da crosta, forma e simetria), as internas (características da crosta, textura do miolo, cor do miolo), além de aroma e gosto. As pontuações obtidas classificaram os pães como ruim (até 79 pontos), razoável (de 80 a 84), bom (de 85 a 93) e excelente (de 94 a 100 pontos).

4.2.9 Firmeza

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

4.2.10 Umidade dos pães

O preparo das amostras de pão de forma foi realizado de acordo com o método 62-05-01 da AACC (2010). Posteriormente, as amostras foram analisadas quanto aos seus teores de umidade, segundo o método 44-15.02 da AACC (2010). A análise foi realizada pelo período de 10 dias de armazenamento.

4.2.11 Cor

Os pães foram avaliados quanto à cor da crosta e do miolo utilizando espectrofotômetro de refletância difusa (modelo ColorQuest II, HunterLab, EUA) com sensor óptico geométrico de esfera para obtenção dos valores L^* (luminosidade), que variam entre zero (preto) e 100 (branco) e coordenadas de cromaticidade a^* , em que os valores negativos ($-a^*$) correspondem

ao verde e os positivos (+a*) correspondem ao vermelho e b*, em que os valores negativos (-b*) correspondem ao azul e os positivos (+b*) correspondem ao amarelo.

4.2.12 Análise estatística

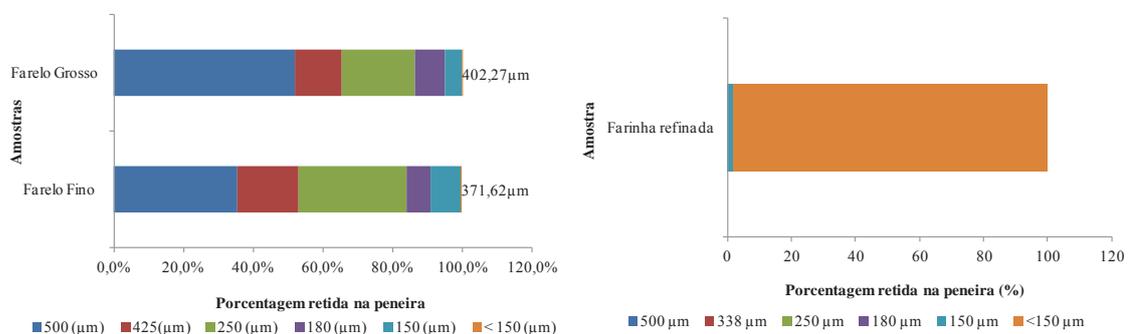
A significância dos dados foi testada pela análise de variância (Anova) a 0,05 de probabilidade de erro e, nos modelos significativos, as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança pelo programa SASM – Agri versão 8.2.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica da farinha de trigo refinada, do farelo grosso e do farelo de granulometria fina está representada na Figura 1. A análise da distribuição granulométrica mostrou que a farinha refinada utilizada neste estudo seguiu o estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005), em que mais de 95% do total da amostra passou através do tamiz com abertura de 250 μm . Em relação ao farelo grosso, 86,3% da amostra permaneceu nos tamizes de abertura ≥ 250 μm . Para o farelo fino, este resultado foi de 84,1% da amostra. Entretanto, a amostra do farelo fino apresentou-se melhor distribuída entre os três tamizes de maior abertura (35,4%, 17,8% e 30,9%, para as aberturas de 500, 425 e 250 μm , respectivamente) que a do farelo grosso (52%, 13,3% e 21%, para as aberturas de 500, 425 e 250 μm , respectivamente).

Figura 1. Distribuição granulométrica da farinha de trigo refinada e do farelo de trigo.



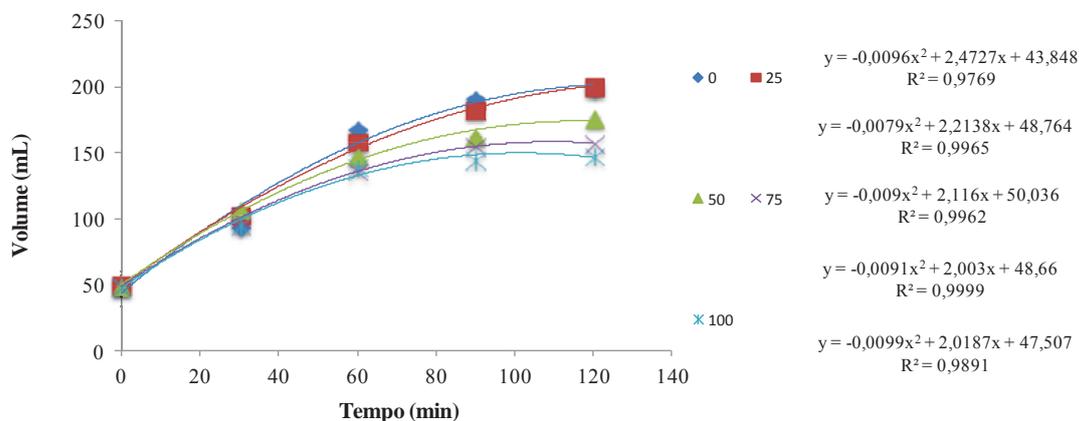
A legislação brasileira não especifica limites para o tamanho de partícula de farelo, porém, ele afeta o escoamento da farinha e é negativamente correlacionado com a coesividade e a força de tração (Kuakpetoon et al., 2001), o que pode ser um dos fatores responsáveis pelo

melhor desempenho de farinhas refinadas durante o processo de cozimento. Neste estudo, o farelo foi submetido ao segundo processo de moagem, diminuindo o tamanho de partículas com o intuito de minimizar os efeitos físicos que este exerce sobre a reologia da massa. No farelo de granulometria fina o diâmetro médio de Sauter foi 371,62 μm , sendo inferior ao farelo obtido na moagem comercial de trigo (farelo grosso).

4.3.2 Volume de fermentação da massa

O volume de fermentação das massas de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo está representado na Figura 2. Na determinação do volume de fermentação, ao ser acomodado em proveta, a massa ficou restrita no espaço disponível, o que determinou o seu formato e orientação de crescimento, utilizando-se do CO_2 produzido pelo processo fermentativo para expandir-se verticalmente. Observou-se que o volume de fermentação foi inicialmente similar para todas as amostras analisadas, porém, no decorrer do tempo, as diferenças entre o volume das massas aumentou significativamente ($p < 0,05$) e de forma proporcional com o teor de farelo reincorporado, obtendo-se o maior volume para a massa de pão elaborada com farinha refinada (198,0 mL) e o menor para a elaborada com 100% de reincorporação de farelo (148,0 mL). Estes resultados se devem à influência do farelo na formação da massa e foram devido ao aumento de fibras e redução de amido nas amostras, prejudicando a formação da rede de glúten.

Figura 2 Volume de fermentação das massas de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo.



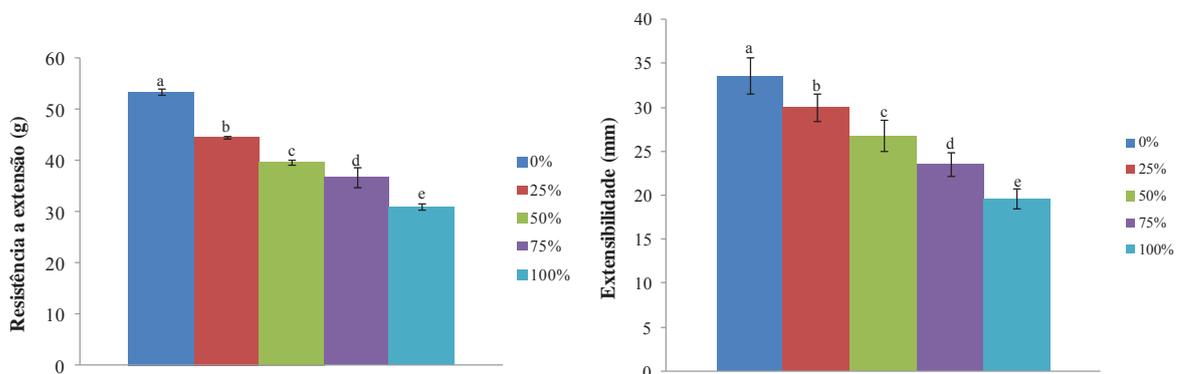
A redução do tamanho de partícula do farelo também pode ter exercido efeito negativo na formação da rede de glúten pela maior exposição de compostos com atividade redutora,

como o ácido ferúlico, presente em maior quantidade nas camadas externas do grão de trigo, resultado em menor volume de fermentação da massa.

4.3.3 Elasticidade e extensibilidade

Na Figura 3 estão representadas a resistência à extensão e a extensibilidade da massa de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo. A resistência à extensão, propriedade de resistir a uma força aplicada e sua tendência em retornar à forma original (elasticidade) foi significativamente ($p < 0,05$) reduzida nas amostras de farinha submetidas à reincorporação de farelo quando comparada aos valores da farinha refinada. Tendência similar foi observada para extensibilidade, parâmetro que determina a capacidade da massa em estender. Com o aumento nos níveis de reincorporação do farelo de 25% a 100% a resistência à extensão e a extensibilidade da massa diminuíram gradualmente, em média, de 44,54 a 31,07 g e 30,00 a 19,67 mm, respectivamente.

Figura 3 Resistência à extensão e extensibilidade das massas de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo.

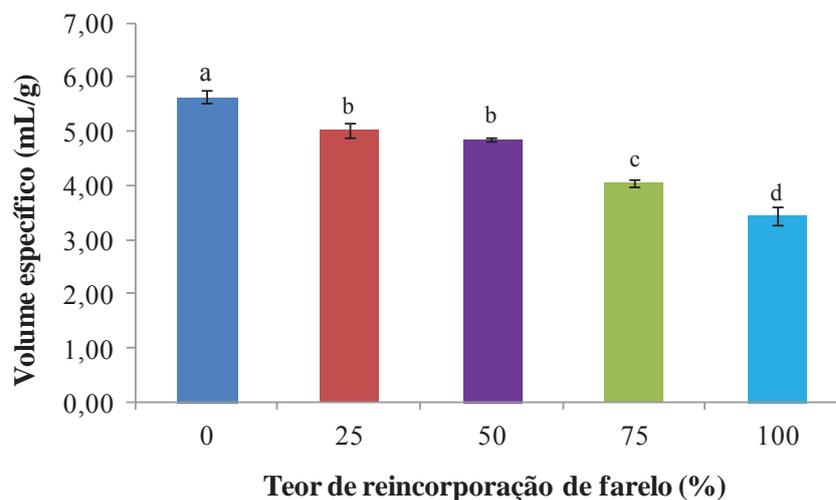


Os efeitos observados na redução das propriedades de resistência à extensão e extensibilidade da massa estão relacionados com alterações da rede de glúten devido a reincorporação de farelo (SCHMIELE et al., 2012). Níveis superiores de adição de farelo na farinha causaram maior diluição da matriz do glúten, enfraquecendo suas características extensíveis, as quais proporcionam impacto sobre os atributos de qualidade dos produtos de panificação como a menor retenção de gás e menor volume de pão.

4.3.4 Volume específico

O volume de específico dos pães de forma elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo está representado na Figura 4. Neste estudo, o volume específico foi utilizado para avaliar a possível interferência dos diferentes níveis de reincorporação de farelo na expansão dos pães. Os resultados indicaram que o volume diminuiu significativamente ($p < 0,05$) com a reincorporação de farelo nas amostras, obtendo valores entre 5,64 e 3,43 mL g⁻¹ para pães de farinha refinada e 100% de reincorporação, respectivamente. O grau de reincorporação de farelo se correlacionou negativamente com volume específico dos pães.

Figura 4 Volume específico dos pães de forma elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo.

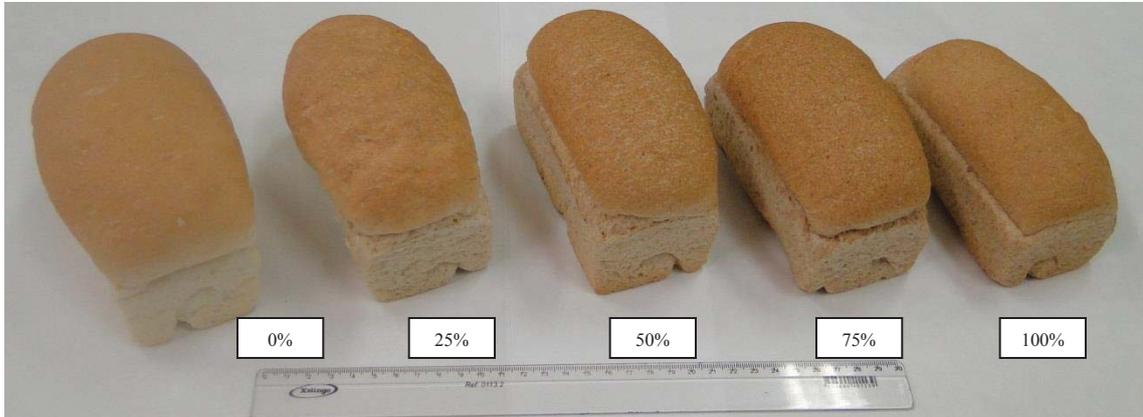


Os níveis de substituição de 75 e 100% afetaram em maior grau as interações farelo-proteína, implicando diretamente nas propriedades reológicas da massa, como enfraquecimento da rede de glúten, levando à menor expansão da massa, quando comparada ao controle. O farelo reincorporado à farinha de trigo desempenhou efeito de diluição da rede de glúten, que associado aos efeitos negativos da granulometria, reduziu de forma significativa o volume dos pães. A redução do tamanho de partículas do farelo confere maior área de superfície e possibilita a liberação de compostos, como enzimas, glutatona e fitatos que podem interagir com as proteínas do glúten (SUDHA et al., 2007). Em pães elaborados com farinha integral (HUNG et al., 2007) e com farinha refinada (ORO, 2013) foi verificado que a fibra alimentar do farelo dilui a rede proteica e afeta a formação da matriz de glúten da massa.

Por outro lado, com a reincorporação de farelo obteve-se ganhos nutricionais no produto final e que estão associados à uma alimentação saudável. A redução do tamanho de partículas

proporcionou a elaboração de pães com volume aceitável, mesmo quando reincorporado 100% do farelo. Esta afirmação pode ser visualizada na Figura 5.

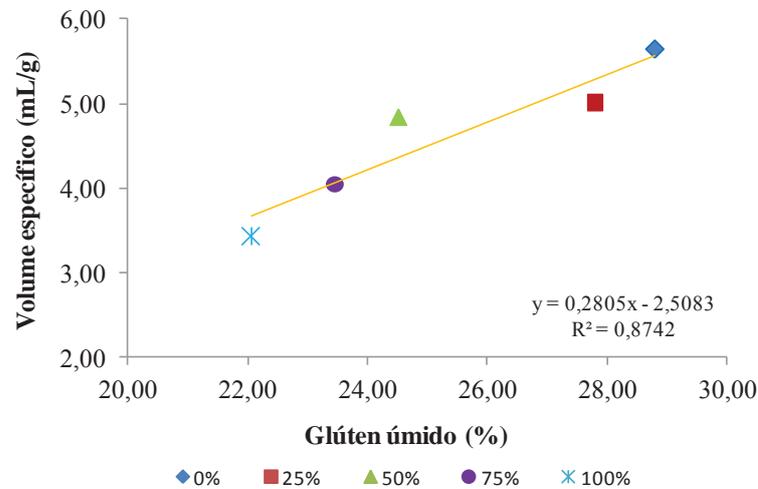
Figura 5 Pães forma elaborados com reincorporação 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de farelo de granulometria fina.



Para Zhang; Moore (1999), o tamanho das partículas do farelo de trigo exerce efeito significativo no volume específico e na qualidade sensorial de pães. O farelo obtido na moagem por moinho de rolos apresenta granulometria bastante superior a da farinha. As partículas interrompem a formação dos alvéolos pelo efeito físico, sendo uma das prováveis causas do menor volume em pães. A redução do tamanho de partículas se mostrou uma alternativa viável para minimizar estes efeitos.

A correlação entre o volume específico e o teor de glúten úmido dos pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo está representada na Figura 6. O teor de glúten úmido e o volume específico das amostras com diferentes teores de reincorporação de farelo de granulometria fina mostrou correlação positiva com coeficiente de determinação de 0,87. O resultado indica que o teor de glúten da farinha foi o responsável pelo melhor volume específico dos pães.

Figura 6 Correlação entre volume do pão e o teor de glúten úmido para pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo.

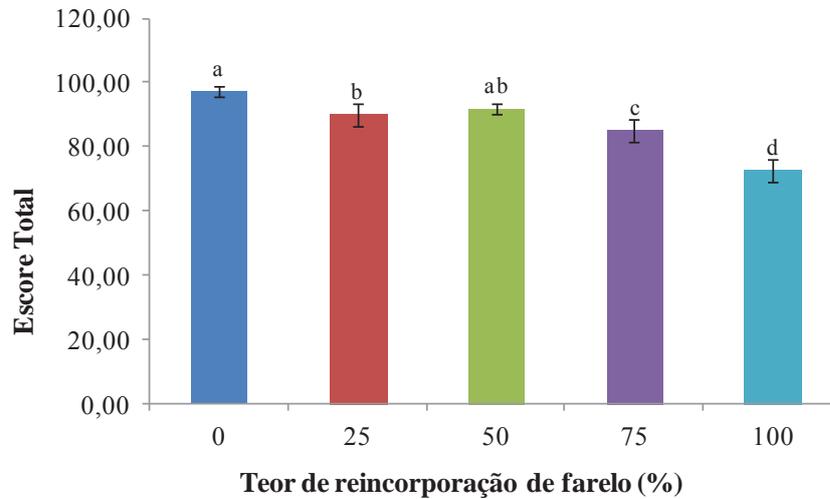


A correlação entre teor de glúten e volume específico dos pães pode ser explicada pelo conhecimento que para formar massa com propriedades de retenção de gás durante o processo de fermentação é necessária rede de glúten de qualidade (NOORT et al., 2010). Neste estudo, o acréscimo de reincorporação de farelo proporcionou redução significativa no volume de pães, demonstrando que o farelo, além de reduzir o teor de glúten, também afeta as propriedades de agregação da massa.

4.3.5 Características de qualidade dos pães de forma

O escore total de pontos de pães de forma elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo está representado na Figura 7. As características sensoriais dos pães de forma foram avaliadas individualmente e posteriormente suas pontuações foram somadas e obtido o escore total para cada amostra. O valor obtido para o pão elaborado com farinha refinada foi de 97,2 pontos, sendo significativamente superior ao pão com 100% de reincorporação, valor de 72,7 pontos, o que permite classificar como excelente e ruim, respectivamente (FERREIRA, 2002). Para as amostras com níveis intermediários de reincorporação de farelo (25%, 50% e 75%) os escores foram 90,0, 91,8 e 85,0, respectivamente, sendo classificados como bons. As amostras apresentaram diferenças significativas quanto ao escore de pontos, recebendo menores valores com os aumentos de reincorporação de farelo de granulometria fina.

Figura 7 Escore total de pontos de pães de forma elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo.



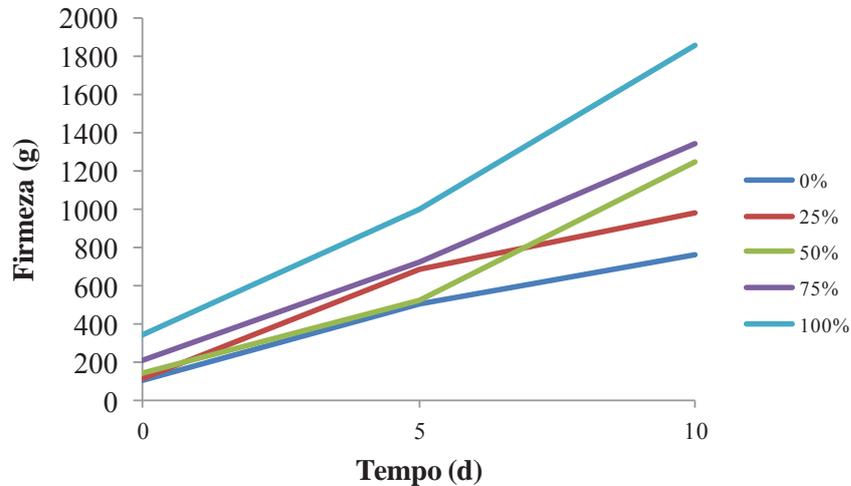
Os resultados mostraram que o farelo de granulometria fina reincorporado na farinha influenciou no volume de fermentação da massa, na resistência a extensão, na extensibilidade e no volume específico dos pães produzidos, pois afetou a formação da rede de glúten. O aumento do teor de farelo também influenciou na cor do miolo e na cor da crosta dos pães pela coloração própria e intensificar as reações de caramelização e Maillard (Hadiyanto, 2007). Com a adição de farelo os pães produzidos apresentam crosta mais espessa e mais dura (Gan et al., 1992). Isto explica a razão da redução dos valores de escore de pontos com a reincorporação de farelo.

Os efeitos no escore de pontos da reincorporação de farelo de granulometria fina podem ser explicados pela diluição de proteínas formadoras do glúten e as alterações sensoriais dos pães de forma. Porém a realização de uma segunda moagem, com redução significativa do tamanho médio de Sauter, com valores passando de 402,27 μm para 371,62 μm , provavelmente proporcionou maior interação de partículas do farelo com a massa, reduzindo os efeitos negativos observados em pães de forma elaborados com farelo de granulometria grossa, obtido na moagem comercial de trigo.

4.3.6 Firmeza

Os resultados da análise de firmeza dos pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo, avaliados no período de 10 dias de armazenamento estão representados na Figura 8.

Figura 8 Firmeza de pães de forma elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo pelo período de 10 dias de armazenamento.

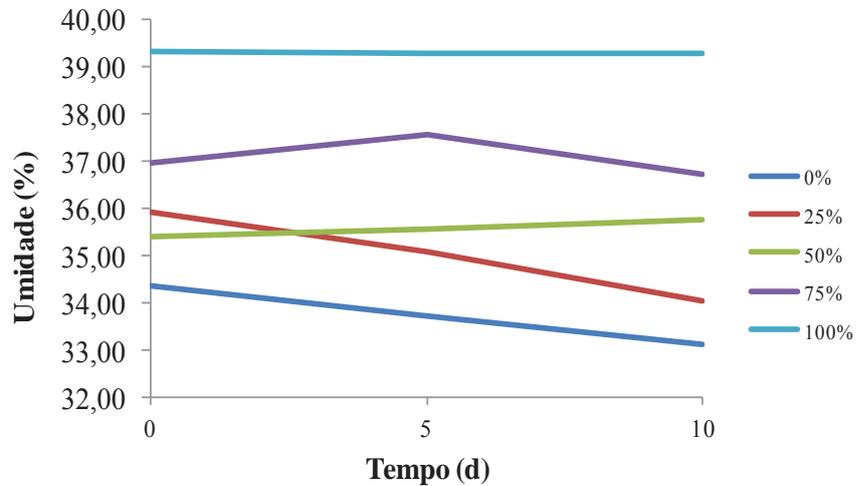


Os resultados mostraram valores similares de firmeza no tempo inicial (tempo zero) sem diferir significativamente entre os tratamentos e distintos ao longo do período de 10 dias de armazenamento. As amostras de farinha refinada (0% de reincorporação de farelo) e com 25%, 50%, 75% e 100% de reincorporação de farelo apresentaram elevação de firmeza com a reincorporação de farelo de granulometria fina. O aumento de firmeza com o tempo de armazenamento pode ser atribuído ao envelhecimento natural do pão e a retrogradação de amido. Estes resultados são similares aos obtidos por Curti et al. (2015) para firmeza de pães elaborados com diferentes frações de farelo.

4.3.7 Umidade

O teor de umidade dos pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo está representado na Figura 9.

Figura 9 Teor de umidade de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação de farelo pelo período de 15 dias de armazenamento.

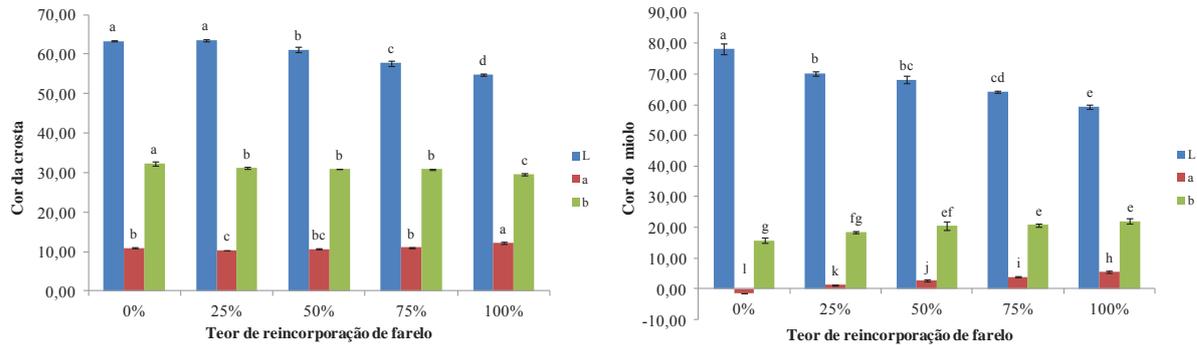


Os resultados revelaram que os pães analisados foram fortemente propensos a alteração de umidade ao longo do período de armazenamento estudado. Os pães elaborados com farinha refinada e farinha com 25%, 50%, 75% e 100% de reincorporação de farelo por dez dias de armazenamento reduziram os valores de umidade ao longo do tempo de armazenamento. O teor de umidade dos pães foi proporcional à reincorporação de farelo. Os maiores teores de umidade refletem a quantidade mais elevada de água empregada nas formulações. Este comportamento foi similar ao relatado por Curti et. al. (2015).

4.3.8 Cor

A cor é um critério importante na avaliação de alimentos e influencia de maneira significativa na aceitação dos produtos pelos consumidores. Os resultados da análise de cor da crosta e do miolo dos pães elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo estão representados na Figura 10.

Figura 10 Cor da crosta dos pães elaborados com diferentes níveis de reincorporação de farelo.



Os resultados de cor apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) nos pães produzidos com diferentes níveis de reincorporação de farelo. A cor dos pães foi mais escura e com leve tendência ao vermelho com a elevação do percentual de reincorporação de farelo. Este comportamento ficou evidenciado pela diminuição dos valores de luminosidade (L^*), variando de 63,27 para 54,82, nas amostras de farinha refinada e com 100% de reincorporação de farelo, respectivamente.

A coordenada de cromaticidade a^* aumentou de 10,94 para 12,07 nas amostras de farinha refinada e com 100% de reincorporação de farelo, respectivamente. Isto pode ser atribuído ao aumento do teor de farelo das amostras o que acentou a coloração escura dos pães de forma. Os resultados estão em acordo com o descrito por Wang et al. (2004) em estudo de farinhas com adição de diferentes teores de farelo.

A coordenada de cromaticidade b^* , que representa a tendência ao amarelo foi alterada pela reincorporação de farelo ($p < 0,05$), com valores entre 32,32 e 29,52 para as amostras de farinha refinada e com 100% de reincorporação, respectivamente. Além do farelo, outras substâncias, como açúcares redutores, proteínas e as enzimas polifenol oxidase do trigo podem ter contribuído para a reação de Maillard e a formação de compostos de cor escura nos pães (PEDRESCHI et al., 2006).

De forma similar ao observado na cor da crosta, os valores de luminosidade do miolo (L^*) apresentaram diminuição significativa ($p < 0,05$), variando entre 78,51 e 62,53 para as amostras de farinha refinada e com 100% de reincorporação de farelo, respectivamente. Os valores das coordenadas de cromaticidade a^* e b^* apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) em função da reincorporação de farelo. Além da presença do farelo e de reações químicas que ocorrem com os compostos da farinha refinada, a cor do miolo ficou mais perceptível devido aos carotenóides presentes no germe e que foram reincorporados na farinha de trigo junto com o farelo.

4.4 CONCLUSÕES

A reincorporação de farelo na farinha refinada promove alteração na massa devido o aumento de fibras e redução de proteínas formadoras de glúten prejudicando o volume de fermentação e as propriedades de resistência à extensão e extensibilidade.

A redução do tamanho de partículas do farelo reincorporado na farinha de trigo minimiza os efeitos negativos no volume específico de pão de forma.

O teor de glúten da massa com reincorporação de farelo de granulometria fina correlaciona positivamente com volume específico dos pães de forma.

O aumento de firmeza dos pães de forma com o tempo de armazenamento é proporcional à reincorporação de farelo de granulometria fina e ocorre devido ao envelhecimento natural do pão.

De maneira geral, os efeitos observados na avaliação das massas elaboradas podem ser atribuídos em maior extensão ao efeito de diluição da matriz proteica causado pela reincorporação de farelo e minimizados pela diminuição do tamanho de suas partículas.

Maiores resultados relativos ao efeito do tamanho de partículas de farelo nas propriedades da massa ainda precisam ser investigados.

REFERÊNCIAS

- AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of Analysis**, 11^a.ed., 2010. AACC International, St. Paul, MN, U.S.A.
- CURTI, E.; CARINI, E.; BONACINI, G.; TRIBUZIO, G.; VITTADINI, E. Effect of the addition of bran fractions on bread properties. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 325–332, 2013.
- CURTI, E.; CARINI, E.; TRIBUZIO, G.; VITTADINI, E. Effect of bran on bread staling: Physico-chemical characterization and molecular mobility. **Journal of Cereal Science**, n. 65, p. 25-30, 2015.
- EL-DASH, A. A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. **Cereal Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 436-446, 1978.
- GAN, Z.; GALLIARD, T.; ELLIS, P. R.; ANGOLD, R. E.; VAUGHAN, J. G. Effect of outer bran layers on the loaf volume of wheat bread. **Journal of Cereal Science**, v. 15, p. 151–163, 1992.
- GÓMEZ, M.; JIMÉNEZ, S.; RUIZ, E.; OLIETE, B. Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. **Food Science and Technology**, v. 44, n 10 p. 2231-2237, 2011.
- GÓMEZ, M.; RONDA, F.; BLANCO; CABALLERO, P. A.; APESTEGUÍA, A. Effect of dietary fibre on dough rheology. **European Food Research and Technology**, p. 51-56, 2003.
- HADIYANTO; ASSELMAN, A.; STRATEN G. VAN; BOOM, R. M.; ESVELD, D. C.; BOXTEL, A. J. B. VAN. Quality prediction of bakery products in the initial phase of process design. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, p. 285-298, 2007.
- HUNG, P. V.; MAEDA, T.; MORITA, N. Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution. **Food Research International**, v.40, n.2, p. 273–279.
- JACOBS, J. D. R.; MARQUART, L.; SLAVIN, J.; KUSHI, L.H. Whole-grain intake and cancer: An expanded review and meta-analysis. **Nutrition and Cancer**, v.30, p.85-96, 1998.
- KIEFFER, R. et al. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. **Journal of Cereal Science**, V.27, n.1, p.53-60, 1998.
- MOSCATTO, J. A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. M.; HAULY, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 634- 640, 2004.
- 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.

PEDRESCHI, F.; KAAACK, K.; GRANBY, K. Acrylamide content and color development in fried potato strips. **Food Research International**, v.39, n.1, p.40-46, 2006.

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

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

ROUILLÉ, J.; LE BAIL, A., COURCOUX, P. Influence of formulation and mixing conditions on breadmaking qualities of French frozen dough. **Journal of Food Engineering**, v.43, p.197-203, 2000.

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

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

WANG, J.; ROSELL, C. M.; BARBER, C. B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**, v. 79, p. 221-226, 2002.

WANG, M.; VIET, T.; HAMER, J. R. How gluten properties are affected by pentosans. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 3, p. 395–402, 2004.

WANGY Li, M. Q. Effects of ultra-fine grinding on the properties of wheat bran. **Modern Food Science and Technology**. 27: 271-274, 2011.

ZHANG, D.; MOORE, WR. Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 75, p. 705–709, 1999.

5. CONCLUSÕES

A composição química influencia nas características físicas, químicas, reológicas e funcionais de forma proporcional com a reincorporação de farelo de granulometria fina, sendo determinante na qualidade tecnológica dos tratamentos estudados. A qualidade tecnológica das farinhas diminui com a reincorporação de farelo, o que pode ser atribuído ao maior teor de fibras, diluição da matriz proteica e de amido. Os parâmetros de alveografia, farinografia e de propriedades de pasta das farinhas diminuem proporcionalmente com o aumento do teor de farelo, atribuído à maior absorção de água pelas fibras, presentes em maior quantidade e a diluição da matriz proteica devida o menor teor de glúten. A reincorporação de farelo na farinha refinada promove alteração na massa avaliada pelos menores valores de volume de fermentação, resistência à extensão e extensibilidade. A redução do tamanho de partículas do farelo reincorporado na farinha de trigo minimiza os efeitos negativos no volume específico de pão de forma. O teor de glúten da massa com reincorporação de farelo de granulometria fina correlaciona positivamente com volume específico dos pães de forma. O aumento de firmeza dos pães de forma com o tempo de armazenamento é devido ao envelhecimento natural do pão. De maneira geral, os efeitos observados na avaliação das massas elaboradas podem ser atribuídos em maior extensão ao efeito de diluição da matriz proteica causado pela reincorporação de farelo e minimizados pela diminuição do tamanho de suas partículas. Maiores resultados relativos ao efeito do tamanho de partículas de farelo nas propriedades da massa ainda precisam ser investigados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, o farelo foi submetido ao segundo processo de moagem, diminuindo o tamanho de partículas com o intuito de minimizar os efeitos físicos, químicos e reológicos que este exerce na massa. O farelo de granulometria fina apresentou retenção de 85% no tamiz de abertura $\geq 250 \mu\text{m}$. Com a segunda moagem o diâmetro médio de Sauter passou para $371,62 \mu\text{m}$, inferior aos $402,27 \mu\text{m}$ do farelo obtido em moagem comercial de trigo.

A presença do farelo nas amostras provocou aumento significativo da absorção de água em relação à farinha refinada com o aumento dos percentuais de reincorporação nas amostras. A quantidade de água (%) necessária para obtenção da massa com consistência ideal (500 UF) aumentou em 9% quando 100% do farelo foi reincorporado na farinha, comportamento relacionado à maior capacidade de absorção de água pelas fibras.

A estabilidade da massa, parâmetro correlacionado com a força da farinha, apresentou-se diminuída em relação à farinha refinada nas amostras elaboradas com 75% e 100% de reincorporação de farelo. A presença do farelo leva à formação de uma rede de glúten enfraquecida e menos estável durante o processo de mistura prolongado devido a uma série de interações físicas e químicas que interferem diretamente na estabilidade da massa, pois ela depende do número de ligações entre as moléculas proteicas presentes no glúten e da força entre essas ligações.

Nas propriedades de pasta, a amilose atua parcialmente como diluente da amilopectina e parcialmente como inibidor do intumescimento, especialmente quando complexada com lipídios, o que justifica os menores valores de viscosidade máxima das amostras elaboradas com maior teor de farelo, em que estão presentes os lipídios originados do gérmen do grão de trigo. A viscosidade mínima à temperatura constante é o valor da viscosidade no momento em que a temperatura é mantida a 95°C e está associada à estabilidade dos grânulos de amido em relação ao aquecimento.

Na determinação das propriedades de pasta, as suspensões de amido são submetidas a alta temperatura e tensão de cisalhamento mecânico ocorrendo o rompimento dos grânulos de amido, o que resulta na lixiviação da amilose. Neste período que ocorre diminuição da viscosidade, a capacidade dos amidos em suportar o aquecimento a alta temperatura e tensão de cisalhamento é um fator importante em muitos processos em alimentos. Os resultados demonstram maiores efeitos da adição de farelo na viscosidade das amostras elaboradas com 75 e 100% de farelo adicionado em proporção ao total de farelo da moagem, revelando que as

amostras com 25 e 50% de adição de farelo são mais indicadas para elaboração de alimentos porque podem gerar produtos com melhor volume, maciez e maior tempo de vida útil.

O volume de fermentação das massas de pães elaborados com diferentes teores de reincorporação foi inicialmente similar, porém, no decorrer do tempo, as diferenças entre o volume das massas aumentou de forma proporcional com o teor de farelo reincorporado. Estes resultados se devem à influência do farelo na formação da massa e foram devido ao aumento de fibras e redução de amido nas amostras, prejudicando a formação da rede de glúten. A resistência à extensão e a extensibilidade da massa apresentaram comportamento similar.

O volume específico foi utilizado para avaliar a interferência dos diferentes níveis de reincorporação de farelo na expansão dos pães e observou-se correlação negativa entre o grau de reincorporação de farelo e o volume específico, com menor intensidade em 25 e 50% e acentuou-se nos níveis de 75 e 100% de incorporação. A incorporação de 75 e 100% de farelo afetaram em maior grau as interações com a proteína, implicando diretamente nas propriedades reológicas da massa, como o enfraquecimento da rede de glúten e a menor expansão da massa, quando comparada ao controle.

Por outro lado, com a reincorporação de farelo se obteve ganhos nutricionais no produto final e que estão associados à uma alimentação saudável. A redução do tamanho de partículas proporcionou a elaboração de pães com volume aceitável, mesmo quando reincorporado 100% do farelo.

As características observadas nas farinhas com incorporação de farelo de granulometria fina podem ser atribuídas em maior extensão ao efeito de diluição da matriz proteica causado pelas fibras. Mais resultados relativos ao efeito do tamanho de partícula de farinhas integrais nas propriedades da massa e na qualidade de produtos de panificação ainda precisam ser investigados.

7. REFERÊNCIAS

1. OKARTER, N.; LIU, C. S.; SORRELLS, M. E.; LIU, R. H. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat. **Food Chemistry**, v. 119, p. 249–257, 2010.
2. KUAKPETOON, D.; FLORES, R. A.; MILLIKEN, G. A. Dry mixing of wheat flours: Effect of particle properties and blending ratio. **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 34, n. 3, p. 183-193, 2001.
3. KIHLEBERG, I., JOHANSSON, L., KOHLER, A., RISVIK, E., Sensory qualities of whole wheat an bread e influence of farming system, milling, and baking technique. **Journal of Cereal Science**.v.39, n.1, p.67-84, 2004.
4. ROSA, N.N., BARRON, C., GAIANI, C., DUFOUR, C., MICARD, V., Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran. **Journal of Cereal Science**. v.57, n.1, p.84-90, 2013.
5. **EMBRAPA**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/index.htm>>, Acesso em 02 de junho de 2015>
6. **CONAB** (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. 12o Levantamento. Brasília, set. 2011. Acesso em: 08 jan. 2015. Online. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_19_09_49_47_boletim_jjaneiro_2015.pdf>.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO – **ABITRIGO**. Participação dos Derivados no Mercado de Farinhas - 2012. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/pdf/PART-MERCADO-FARINHA-DERIVADOS-2012.pdf>. Acesso em 02/03/2015.
8. TORBICA M. ANTOV J. MASTILOVIC´ D. KNEZEVIC´ The influence of changes in gluten complex structure on technological quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food Research International**, v. 40, p. 1038–1045, 2007.
9. CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Tecnologia da panificação**. 2.ed. Barueri: Manole, 2009a. 440p.
10. MOUSIA, Z.; CAMPBELL, G.M.; PANDIELLA, S.S.; WEBB,C. Effect of fat level, mixing pressure and temperature on dough expansion capacity during proving. **Journal of Cereal Science**, v.46, p.139-147, 2007.
11. PEDERSEN, B., EGGUM, B.O., The influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains. **Plant Foods for Human Nutrition**. V. 33, n. 4, p. 267-278, 1983.
12. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha**

- de Trigo.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 jun. 2005. Seção 1, n. 105, p. 91.
13. GIECO, E. A.; DUBKOVSKY, J.; CAMARGO, L. E. A. Interaction between resistance to *Septoria tritici* and phenological stages in wheat. **Scientia Agricola.**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 422-426, 2004.
14. FERREIRA, R. A. Trigo: o alimento mais produzido no mundo. **Nutrition Brasil**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 45-52, 2003.
15. ALVIN, A.; AUGUSTO, M.; PAULO, D. Efeitos do acordo entre o Mercosul e a União Européia sobre os mercados de grãos. **Revista Econ. Soc. Rural**, v. 43, n. 4, p. 703-723, 2005.
16. AQUINO, V.C. **Estudo da estrutura de massas de pães elaboradas a partir de diferentes processos fermentativos.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
17. BOLLAIN, C.; COLLAR, C. Dough viscoelastic response of hydrocolloid/enzyme/surfactant blends assessed by uni-and bi axial extension measurements. **Food Hydrocolloids**, v.18,p.499-507, 2004.
18. BOURNE, M. C. Texture, viscosity and food. In: **Food texture and viscosity. Concept and measurement.** Academic Press, New York, p. 1–23, 2002.
19. DOBRASZCZYK, B. J.; MORGENSTERN, M. P. Rheology and the breadmaking process. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 2, p. 229-245, 2003.
20. HOSENEY, R.C. **Principles of cereal: science and technology.** 2.ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1994. 378p.
21. BRANLARD, G; DARDEVET, R; SACCOMANO, R.; LAGOUTTE, F.; GOURDON, J. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. **Euphytica**, v. 119, p. 59–67, 2001.
22. WANG, M.; OUDGENOEG, G.; VIET, T.; HAMER, J. R. Interaction of water unextractable solids with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 1, p. 94–104, 2003.
23. RESENDE, F.S. **Efeito do congelamento sobre a microestrutura da massa do pão.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2011.
24. 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, n. 3, p. 12–30, 2005.

25. GUERREIRO, L. **Dossiê Técnico Panificação** REDETEC – Rede de Tecnologia do Rio do Janeiro, dezembro, 2006. Disponível em < <http://www.sbrt.ibict.br> > Acesso em 19 de julho de 2006.
26. BEZERRA, J. R. M. V.; GONZÁLES, S. L.; KOPF, C.; RIGO, M.; BASTOS, R. G. Elaboração de Pães com Farinha de Pinhão. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1, p. 69-81, jan/jun 2006.
27. RIBEIRO, M. N. **Influência do tempo de condicionamento do trigo na qualidade tecnológica da farinha**. 2009. 79 p. UFCE Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2009.
28. SROAN, B. S.; BEAN, S. R.; MACRITCHIE, F. Mechanism of gas cell stabilization in bread making. I. The primary gluten–starch matrix. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 32–40, 2009.
29. DOBRASZCZYK, B. J.; ROBERTS, C. A. Strain hardening and dough gas cell-wall failure in biaxial extension. **Journal of Cereal Science**, v. 20, p. 265–274, 1994.
30. _____. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Guia de boas práticas nutricionais. *Disponível em: <portal.anvisa.gov.br/.../...>* . Acesso em: 20/10/2014b.
31. CAUVAIN, S.; YOUNG, L.S. **Fabricación de pan**. Zaragoza: Acribia, 2002, 419p.
32. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA – ABIP. *Performance do setor de panificação e confeitaria brasileiro em 2011*. Disponível em: http://www.abip.org.br/perfil_internas.aspx?cod=199. Acesso em; 01/03/2015.
33. PROPAN (Programa de Apoio a Panificação). Programa de desenvolvimento da alimentação, confeitaria e panificação. Acesso em: 10 jun 2015. Online. Disponível em: <<http://www.propan.com.br/noticia.php?id=844>>.
34. JACOBS J. D. R.; MARQUART, L.; SLAVIN, J.; KUSHI, L.H. Whole-grain intake and cancer: An expanded review and meta-analysis. **Nutrition and Cancer**, v.30, p.85-96, 1998.
35. ANDERSON, J.W. Whole grains and coronary heart disease: The whole kernel of truth. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.80, p.1458-1460, 2004.
36. 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.
37. HEMERY, Y.; ROUAU, X.; PELLERIN, L. V.; BARRON, C.; ABECASSIS. J. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n 3 p. 327-347, 2007.
38. GÓMEZ, M.; JIMÉNEZ, S.; RUIZ, E.; OLIETE, B. Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. **Food Science and Technology**, v. 44, n 10 p. 2231-2237, 2011.

39. STEVENSON, L., PHILLIOS, F., O'SULLIVAN, K., WALTIN, J. Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v.63, n. 8, p. 1001-1013, 2012.
40. WANG, L.; YAO, Y.; HE, Z.; WANG, D.; LIU, A.; ZHANG, Y. Determination of phenolic acid concentrations in wheat flours produced at different extraction rates. **Journal of Cereal Science**, v. 57, p. 67-69, 2013.
41. LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p.207-219. 2007.
42. SIVAN, S.A.; WATERHOUSE, S.D.; QUEK, Y. S.; PERERA, O.C. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. **Food Sciences**, v.75, n.8, p.163-174, 2010.
43. ROSELL, C.M.; ROJAS, J.A.; BARBER, C.B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v.15, n.1, p.75-81, 2001.
44. **BRASIL. Decreto nº 75.697, de 6 de maio de 1975.** Aprova padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo humano. Diário Oficial da União, 06/05/1975.
45. BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília, 1992. 344 p.
46. _____. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 90, de 18 de outubro de 2000. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão. Brasília, DF, 2000b.
47. WHOLE GRAINS COUNCIL. WHAT IS A WHOLE GRAIN? ACESSO EM: 10 jul. 2015. online. Disponível em: <<http://www.wholegrainscouncil.org/whole-grains-101/what-is-a-whole-grain>>.
48. AACC International. Definition of whole grain. Disponível em: <http://www.aaccnet.org/news/pdfs/wgPR.pdf>, 1999, acesso em 15 de agosto de 2014.
49. BOCK, E., J., DAMODARAN, S. Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by fourier transform infrared spectroscopy. **Food Hydrocolloids**, v.31, p. 146-155, 2013.
50. WANGY, Li MQ. Effects of ultra-fine grinding on the properties of wheat bran. **Modern Food Science and Technology**. 27: 271-274, 2011.
51. ZHANG, D., MOORE, W.R. Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, p. 805-809, 1999.
52. 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.

53. WANG, M.; VIET, T.; HAMER, J. R. Evidence that pentosans and xylanase affect the re-agglomeration of the gluten network. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 3, p. 341–349, 2004a.
54. WANG, M.; VIET, T.; HAMER, J. R. How gluten properties are affected by pentosans. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 3, p. 395–402, 2004b.
55. CURTI, E. CARINI, E.; BONACINI, G.; TRIBUZIO, G.; VITTADINI, E. Effect of the addition of bran fractions on bread properties. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 325–332, 2013.
56. ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. *Tese de Doutorado*. Florianópolis, 2013.